



**ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ**

**ΜΑΘΗΜΑ 1ο**

**ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

# Εκτίμηση των συνθηκών του εδάφους στον σχεδιασμό για την κατασκευή του έργου

1. Γεωλογικές συνθήκες
2. Μετάφρασή τους σε τεχνικογεωλογική συμπεριφορά



ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ  
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ

# *Το ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ*

Η πρόκληση της πρόβλεψης  
των συνθηκών που θα συναντηθούν

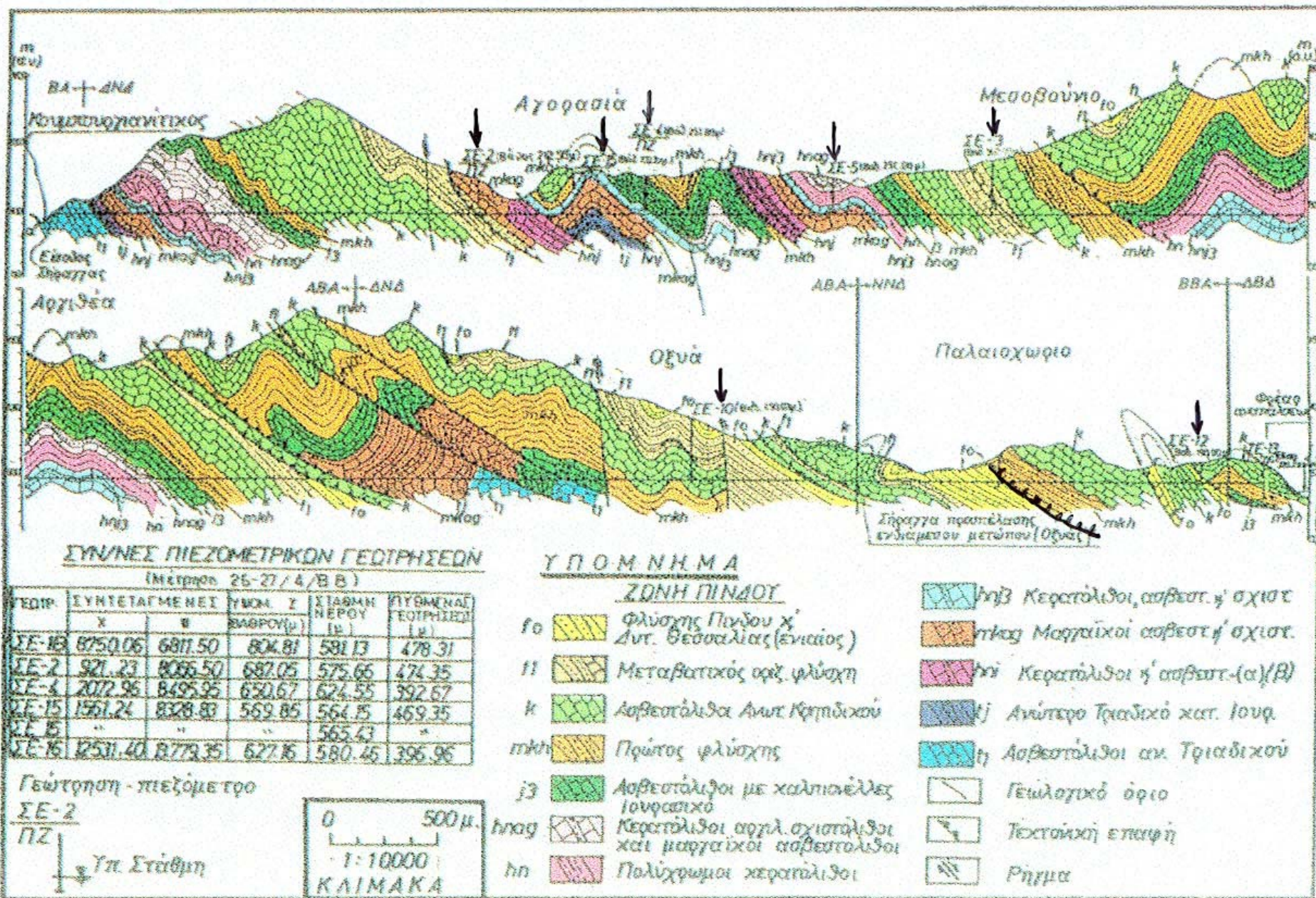
# Συνιστώσες Γεωλογικού Προσομοιώματος

- γενετικές διεργασίες
  - επιγενετικές διεργασίες, μεταμόρφωση
  - τεκτονική εξέλιξη, παραμόρφωση
  - παλαιογεωγραφική εξέλιξη, αποσάθρωση
  - γεωδυναμικό περιβάλλον
  - υδρογεωλογικές συνθήκες
- Φύση πετρωμάτων:  
Ιζηματογενή,  
Πυριγενή,  
Μεταμορφωμένα
- Ρηγμάτωση, πτύχωση,  
ρωγμάτωση-κερματισμός
- Σεισμοί, ενεργά ρήγματα
- Υπόγεια νερά, παροχές, πιέσεις

# Πραγματική & φαινομένη κλίση



# Σήραγγα εκτροπής Αχελώου – Γεωλογική τομή πρόβλεψης



# Ρηγματωμένα στρώματα



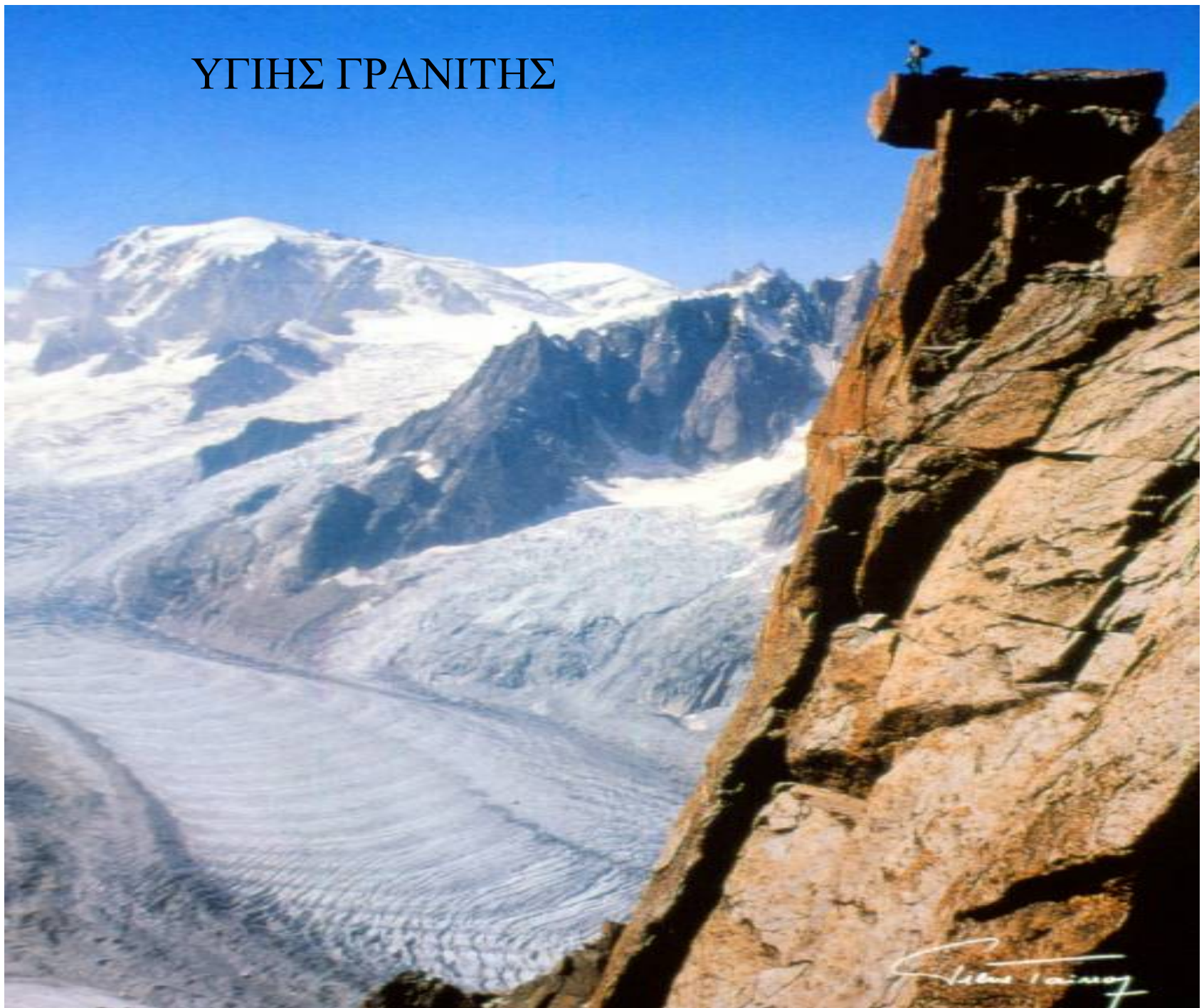
Κανονικό ρήγμα (από σχετική μετακίνηση και κάμψη στρωμάτων)

## Καταπτώσεις στην Διώρυγα Κορίνθου

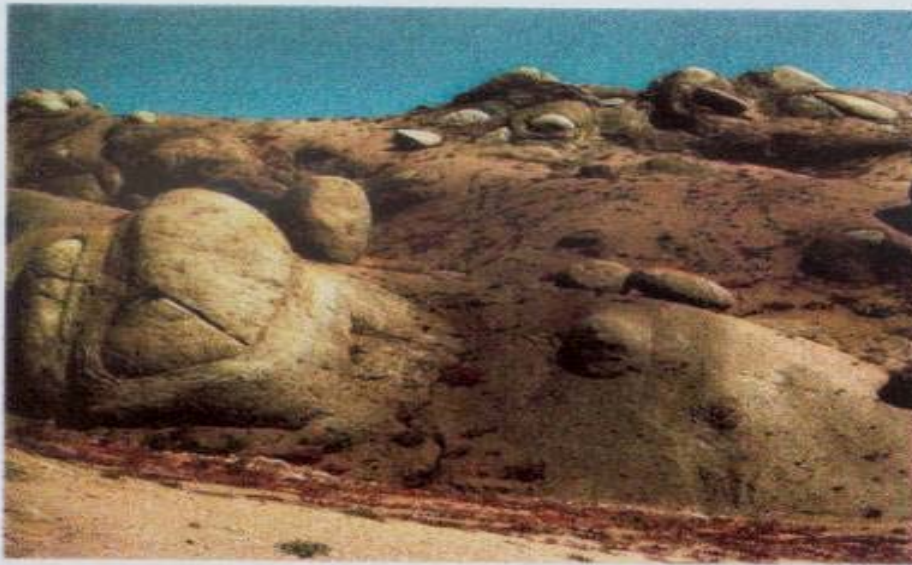


Κατασκευή νέας οδικής γέφυρας με διεύθυνση παρ/λη προς τα ρήγματα

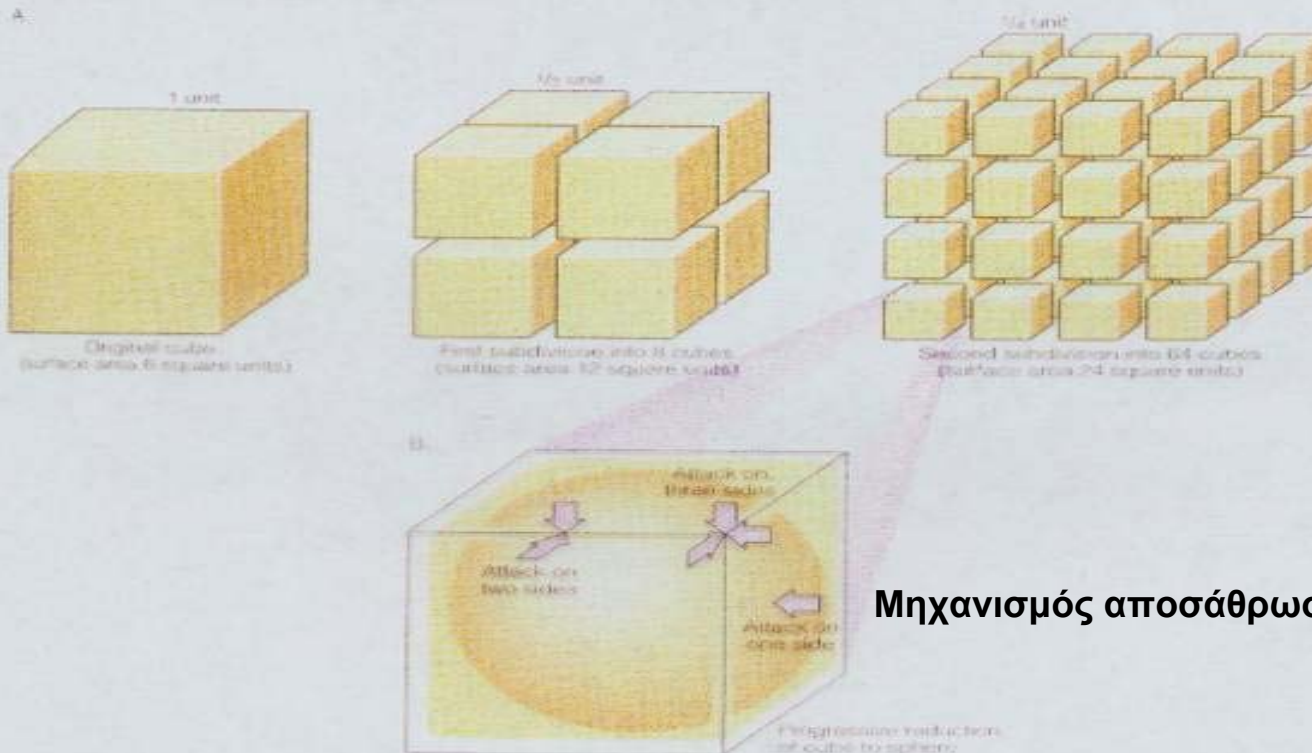
# ΥΓΙΗΣ ΓΡΑΝΙΤΗΣ



*Steve Taiman*



**Figure 5.12 A Rounded Landscape**  
Spheroidal weathering of granitic bedrock in the northern Sierra Nevada of California produces boulders of solid granite that are surrounded by a core of disintegrated rock. Although the boulders resemble rounded stream gravel, their form is entirely the result of weathering.



Μηχανισμός αποσάθρωσης γρανίτη

# Τι απαιτεί ο σχεδιασμός τεχνικού έργου από το Γεωλογικό Προσομοίωμα;

- Προσδιορισμός των συνθηκών που θα συναντηθούν ως προς την ποιότητα του εδάφους
- Προσδιορισμός της φύσης, της θέσης και του μεγέθους των πιθανών κινδύνων
- Ρόλος στην επιλογή της κατάλληλης χάραξης ή θέσης του έργου

# Εκτίμηση των συνθηκών του εδάφους στον σχεδιασμό για την κατασκευή του έργου

1. Γεωλογικές συνθήκες
  2. Μετάφρασή τους σε  
τεχνικογεωλογική συμπεριφορά
- ▼
3. Τύπος γεωυλικού → ιδιότητες
- + Περιβάλλον (τασικό πεδίο, υπόγεια νερά)
- ▼



ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ  
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΓΕΩΥΛΙΚΟΥ

# *Το ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΤΟΥ ΓΕΩΥΛΙΚΟΥ*

## *(Εδαφόμαζα, Βραχώμαζα)*

*η πρόκληση της εκτίμησης των ιδιοτήτων της  
βραχώμαζας και της επιλογής των κατάλληλων  
γεωτεχνικών παραμέτρων για το σχεδιασμό*

# ΤΥΠΟΙ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

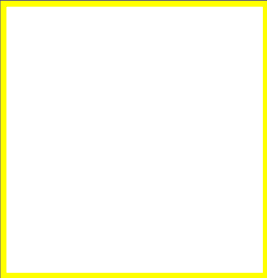
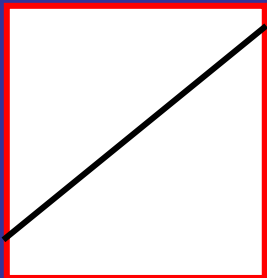
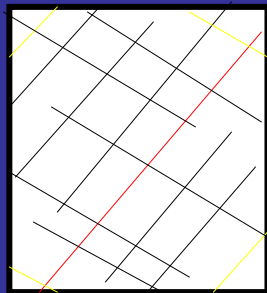
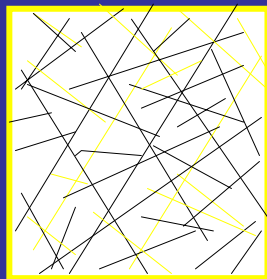
ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΡΡΗΚΤΟΥ ΒΡΑΧΟΥ

ΔΟΜΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ

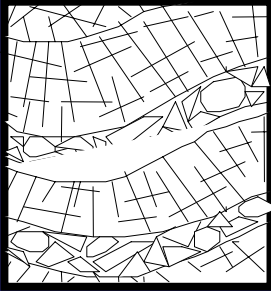
Ο ΤΥΠΟΣ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΕΞΑΡΤΑΤΑΙ ΣΥΝΕΠΩΣ ΑΠΟ ΤΗ  
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΙΣΤΟΡΙΑ  
(ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ)

# Τύποι δομών βραχομάζας

|                                                                   |                                                                                     |                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Άρρηκτο πέτρωμα                                                   |    | Γενικώς ισότροπη,<br>ψαθυρή,ελαστική συμπεριφορά στη θραύση                                               |
| Άρρηκτο πέτρωμα με μία ασυνέχεια                                  |    | Εντελώς ανισότροπη<br>εξαρτάται από τον προσανατολισμό και<br>την διατμητική αντοχή της ασυνέχειας        |
| Τεμαχισμένη βραχόμαζα από τρεις ορθογωνίως τεμνόμενες ασυνέχειες  |   | Ανισότροπη ανάλογα<br>με τον αριθμό, προσανατολισμό,εμμονή<br>και αντοχή των ασυνεχειών                   |
| Πολύ τεμαχισμένη βραχόμαζα από τέσσερις ή περισσότερες ασυνέχειες |  | Ευλόγως ισότροπη,<br>έντονα διαστελλόμενη σε χαμηλές τάσεις,<br>με θραύση των τεμαχιδίων σε υψηλές τάσεις |

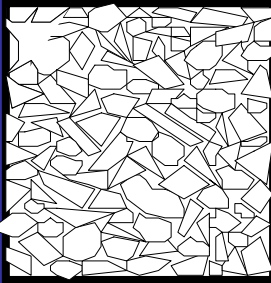
# Τύποι δομών βραχομάζας

Κερματισμένη  
Διαταραγμένη  
και  
Στρωματώδης



Ανισότροπη ανάλογα  
με τον κερματισμό των επιπέδων στρώσης  
ή της σχιστότητας  
και της αντοχής των ασυνεχειών

Αποδομημένη  
βραχώμαζα



Ευλόγως ισότροπη

Φυλλώδης/  
Διατμημένη



Ευλόγως ισότροπη,  
μικρή διαφορά μεταξύ αντοχών  
πετρώματος και ασυνεχειών.  
Θραύση τεμαχίων ακόμη και σε χαμηλές τάσεις

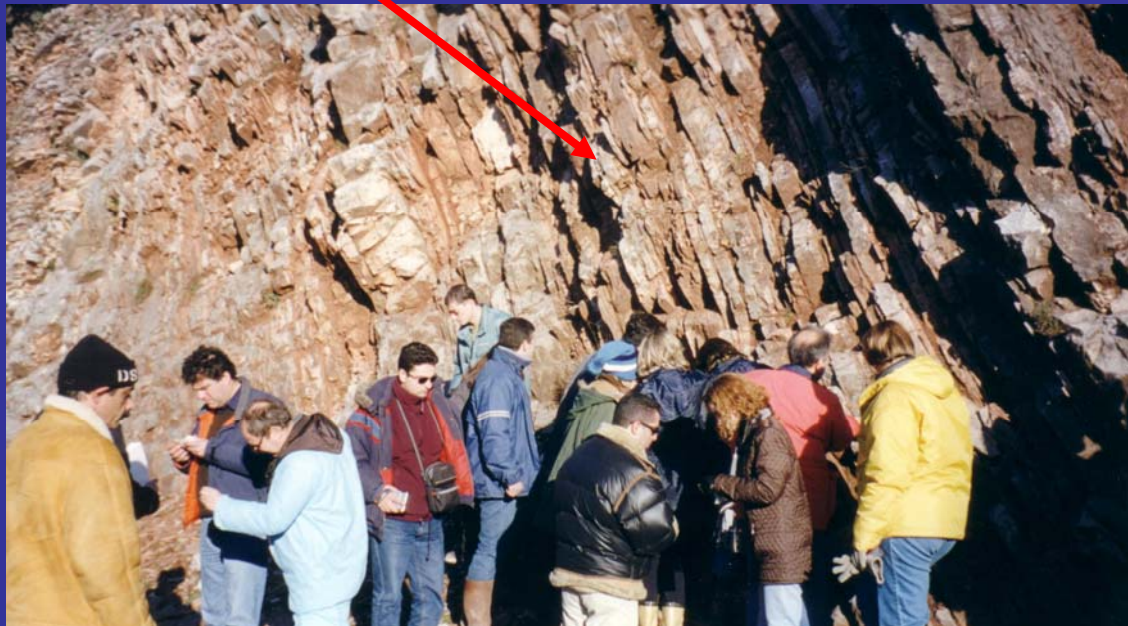


ΑΡΡΗΚΤΟΣ ΒΡΑΧΟΣ



ΒΡΑΧΟΣ ΜΕ ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ = ΒΡΑΧΟΜΑΖΑ

## Τύποι δομών βραχομάζας



Ποιες είναι οι Ιδιότητες της βραχόμαζας;  
Πώς θα τις εκτιμήσουμε;  
Ποιες θα επιλέξουμε ως παραμέτρους  
σχεδιασμού;

- Ποιο είναι το μέτρο παραμορφωσιμότητας της βραχόμαζας,  $E$
- Ποια είναι η αντοχή της,  $\sigma_{cm}$ , Ποια η συνοχή,  $c$ , και η γωνία τριβής,  $\varphi$ .

# Εκτίμηση των συνθηκών του εδάφους στον σχεδιασμό για την κατασκευή του έργου

1. Γεωλογικές συνθήκες
2. Μετάφρασή τους σε τεχνικογεωλογική συμπεριφορά
3. Τύπος γεωυλικού → ιδιότητες  
+ Περιβάλλον(τασικό πεδίο, υπόγεια νερά)



ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ  
ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΕΩΥΛΙΚΟΥ

Επιλογή των σωστών γεωτεχνικών παραμέτρων και των κατάλληλων κριτηρίων τεχνικής συμπεριφοράς

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ**

χρήση εμπειρικών, αναλυτικών-αριθμητικών μεθόδων

**ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ**

Εφαρμογή του σχεδιασμού

**ΜΕΡΙΚΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ**

**ΚΑΛΗ ΧΡΗΣΗ ή ΑΓΝΟΙΑ ή ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΗ ΕΡΜΗΝΕΙΑ**

**ΤΩΝ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ ή ΤΩΝ  
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΣΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ  
ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΡΓΩΝ**

# Παράδειγμα 1

## Μητροπολιτικός Σιδηρόδρομος της ΑΘΗΝΑΣ

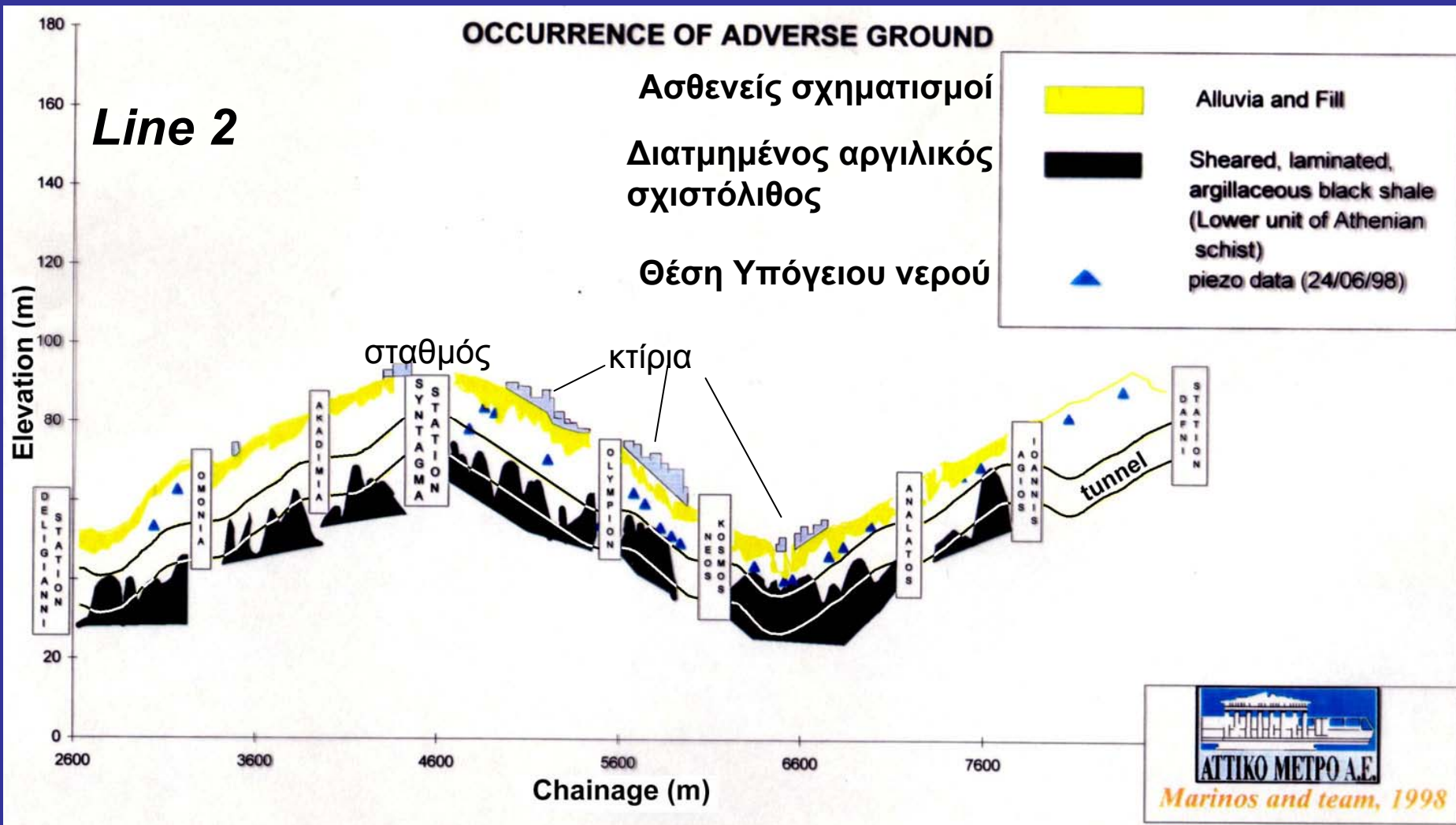
Το βασικό μηχάνημα TBM του έργου. Κριτήρια επιλογής;



- διάμετρος: 9.5μ
- τύπος: με ασπίδα
- κοπτικά κεφαλής: δίσκοι οδόντες
- ανοίγματα εισόδου προϊόντων εκσκαφής: 30% της επιφάνειας της κεφαλής
- μεταφορά προϊόντων εκσκαφής: ταινίες μεταφοράς

# Μητροπολιτικός Σιδηρόδρομος της ΑΘΗΝΑΣ

## Το γεωλογικό προσομοίωμα γεωτεχνικά προσανατολισμένο



# Μητροπολιτικός Σιδηρόδρομος της ΑΘΗΝΑΣ

## Εκσκαφή των ενοτήτων του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου με το συγκεκριμένο TBM

Ανώτερη  
Ενότητα:  
  
Ψαμμίτες



Επιτυχής λειτουργία

Κατώτερη  
Ενότητα:

Αργιλικό  
Σχιστό-  
λιθοι &  
Ιλυόλιθοι



Υπερεκσκαφές  
και  
καταρρεύσεις

# Μητροπολιτικός Σιδηρόδρομος της ΑΘΗΝΑΣ

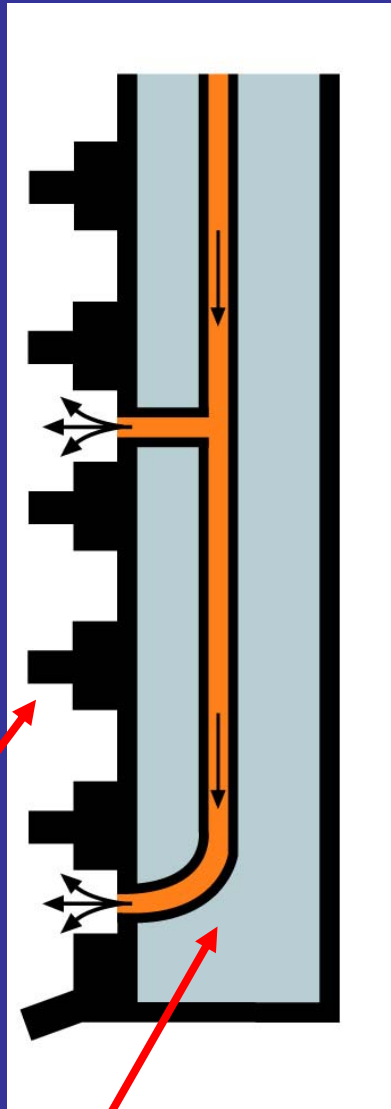


**ΚΑΤΑΡΕΥΣΗ ΥΠΟ  
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΜΕΤΡΟ  
ΣΤΗΝ ΔΟΥΚΙΣΣΗΣ ΠΛΑΚΕΝΤΙΑΣ 2003**

# ΜΗΧΑΝΗ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΟΙΗΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ (ΕΡΒΜ) ΓΙΑ ΑΣΤΑΘΗ ΕΔΑΦΗ ή ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Διακρίνεται η  
εισπίεση  
ρυθμιστών  
εδάφους για την  
ομογενοποίηση  
του  
εκσκαπτομένου  
υλικού

Κοπτικά άκρα



Θάλαμος συγκέντρωσης και ρυθμισμένης εκκένωσης του υλικού

## Παράδειγμα 2

### Σήραγγες Εγνατίας Οδού στην Πίνδο

# Εντοπισμός πετρωμάτων που μπορούν να προκαλέσουν συνθλίψεις. Σήραγγα Ανηλίου



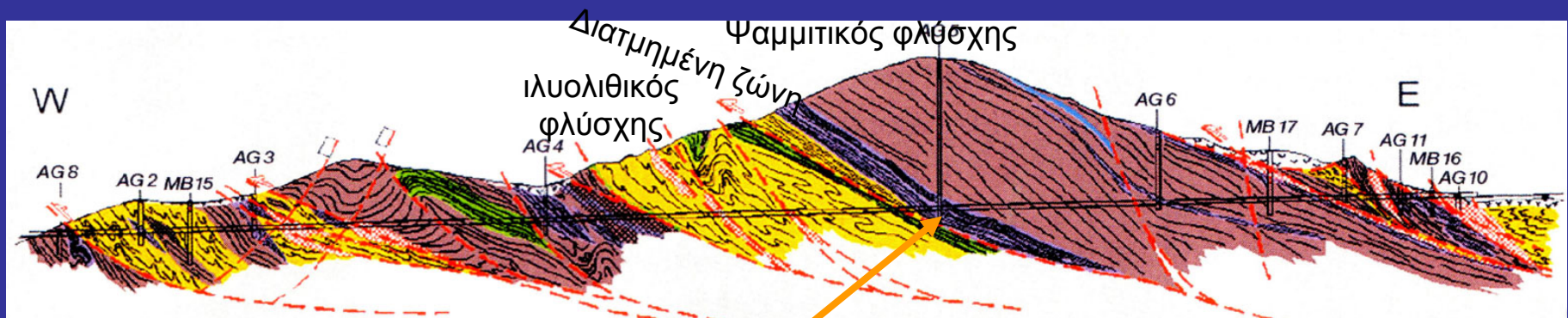
Γεωλογικό προσομοίωμα σήραγγας Ανηλίου



## Παράδειγμα 2

Σήραγγες Εγνατίας Οδού στην Πίνδο

# Εντοπισμός πετρωμάτων που μπορούν να προκαλέσουν συνθλίψεις. Σήραγγα Ανηλίου



Γεωλογικό προσομοίωμα σήραγγας Ανηλίου



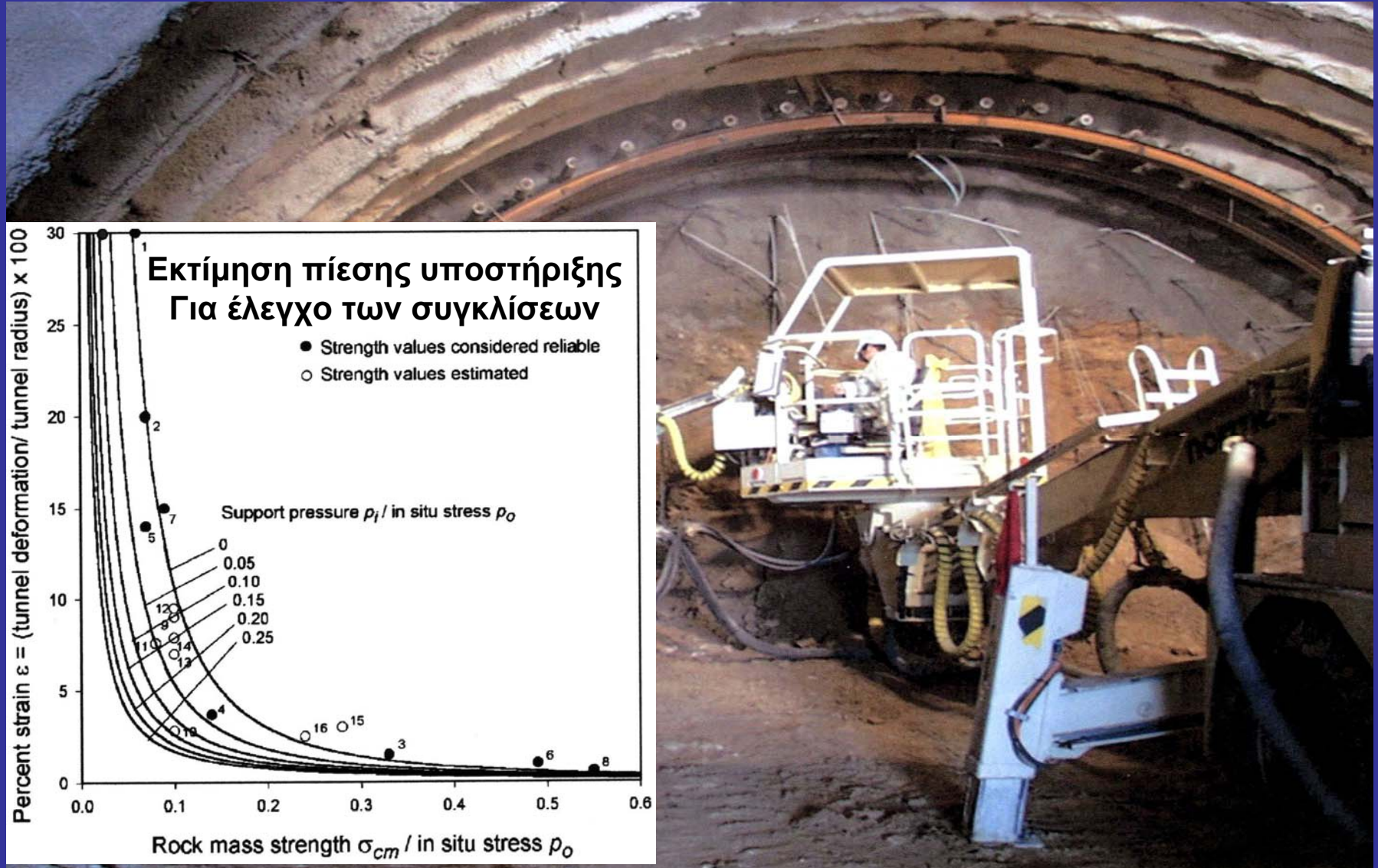
# Σήραγγες Εγνατίας Οδού στην Πίνδο

## Αντιμετώπιση της σύγκλισης σε ασθενή πετρώματα σε μεγάλο βάθος με δημιουργία κατάλληλου ισχυρού κελύφους



Υποστήριξη σε περιοχή όπου τα φαινόμενα σύνθλιψης είχαν προβλεφθεί

# Αντιμετώπιση της σύγκλισης σε ασθενή πετρώματα σε μεγάλο βάθος με δημιουργία κατάλληλου ισχυρού κελύφους



Υποστήριξη σε περιοχή όπου τα φαινόμενα σύνθλιψης είχαν προβλεφθεί

# Παράδειγμα 3

## Γέφυρα Βοτονοσίου Εγνατίας Οδού

Γεωλογικό μοντέλο: Ψαμμίτες φλύσχη με ευνοϊκή διάταξη (κλίση προς το εσωτερικό του πρηνούς).

Μοντέλο βραχώμαζας: εκτίμηση αντοχής και παραμορφωσιμότητας για το σχεδιασμό της θεμελίωσης



## Παράδειγμα 4: Όρυγμα

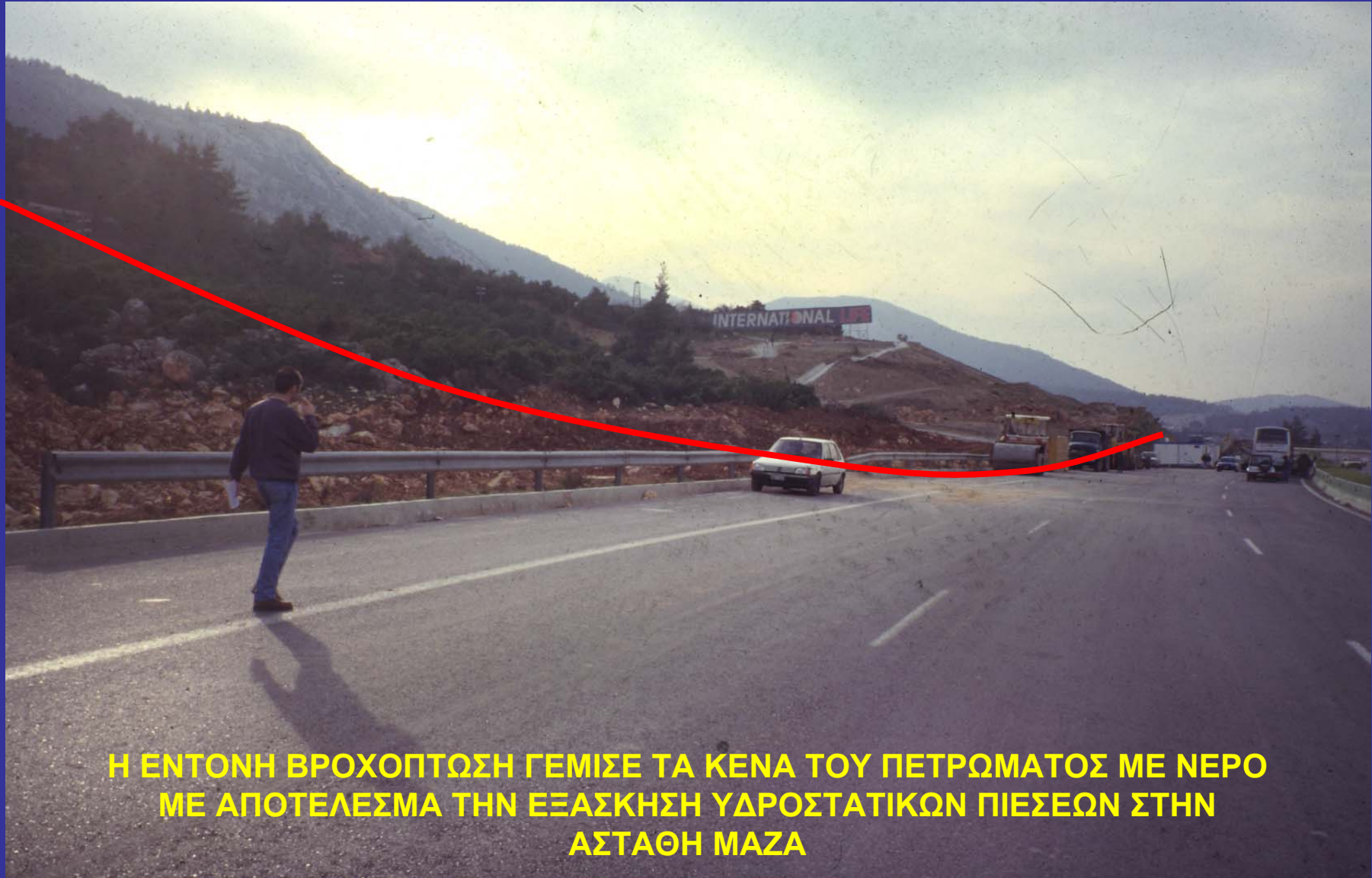
Το γεωλογικό μοντέλο: ιλυόλιθοι σε ασφαλή διάταξη έναντι γενικής κατολίσθησης του πρανούς.

Μοντέλο βραχώμαζας: εκτίμηση αντοχής για να μπορέσει να διαμορφωθεί όρυγμα με μεγάλη κλίση



## Παράδειγμα 5: Όρυγμα οδοποιίας

ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ ΜΑΛΑΚΑΣΑΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΥ ΑΘΗΝΩΝ – ΛΑΜΙΑΣ 1995  
ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΛΙΑΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ (ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ) ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ  
ΤΟΥ ΔΡΟΜΟΥ ΣΤΗΝ ΒΑΣΗ ΤΗΣ ΠΟΥ ΑΦΑΙΡΕΣΕ ΣΤΗΡΙΞΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΛΑΓΙΑ



Η ΕΝΤΟΝΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ ΓΕΜΙΣΕ ΤΑ ΚΕΝΑ ΤΟΥ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΝΕΡΟ  
ΜΕ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΗΝ ΕΞΑΣΚΗΣΗ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΩΝ ΠΙΕΣΕΩΝ ΣΤΗΝ  
ΑΣΤΑΘΗ ΜΑΖΑ

## Παράδειγμα 6: Όρυγμα καναλιού



Διώρυγα Κορίνθου μετά το σεισμό του 1981  
Καταπτώσεις και Ξεσκάρωμα επικίνδυνων τεμαχών

# Παράδειγμα 7. Βραχόπτωση Τεμπών 2009

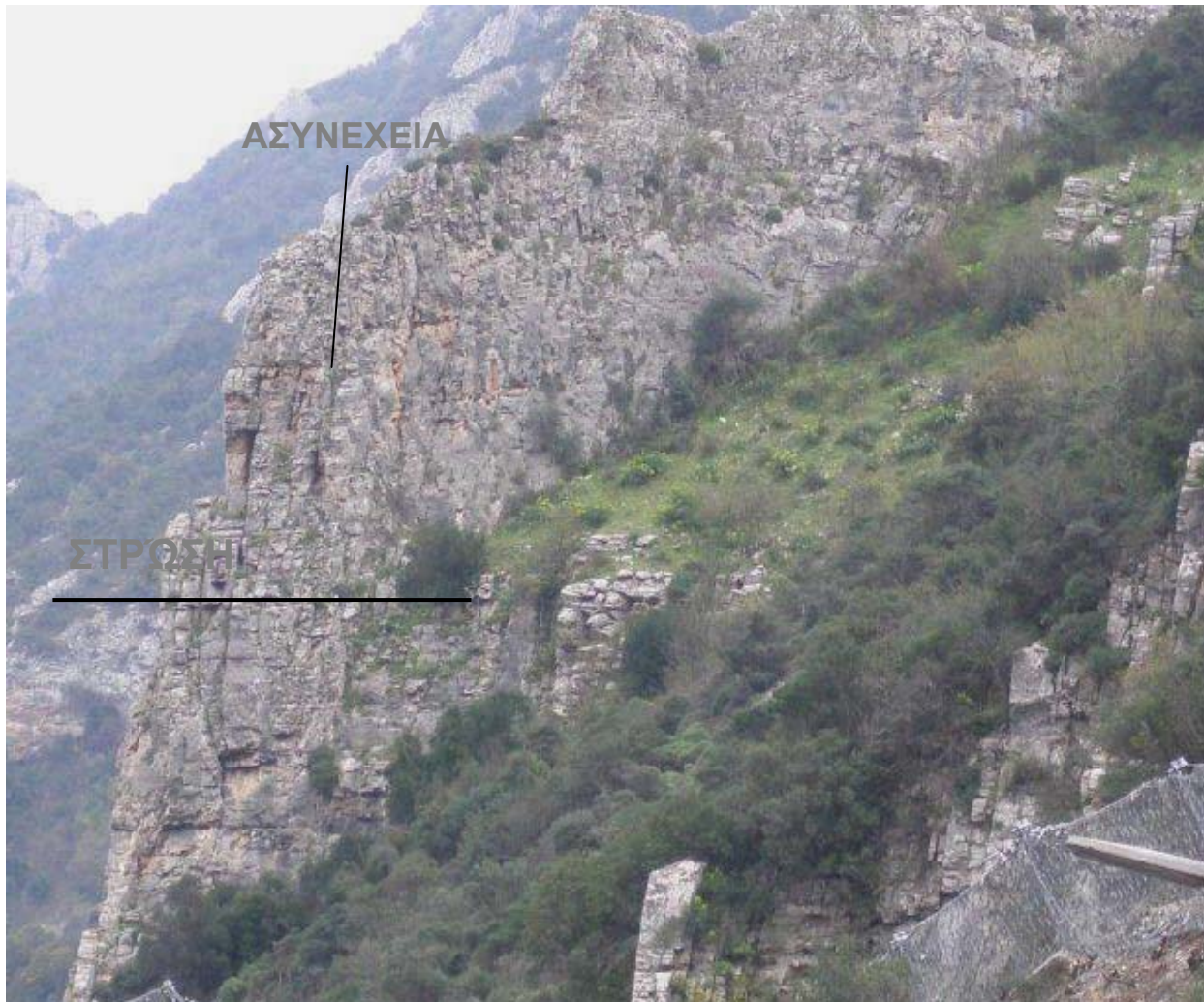
Η κοιλάδα των Τεμπών έχει διαμορφωθεί ως μια ρηξιγενής ζώνη με δ/νση ΒΑ/κή-ΝΔ/κή κατά μήκος του Πηνειού ποταμού (7.5 km).

Τα ύψη στα οποία αναπτύσσεται το φυσικό ανάγλυφο στις απότομες κλιτύες της Όσσας κυμαίνονται από 10m έως 350m με μορφολογικές κλίσεις από  $20^\circ$  έως  $75^\circ$  περίπου

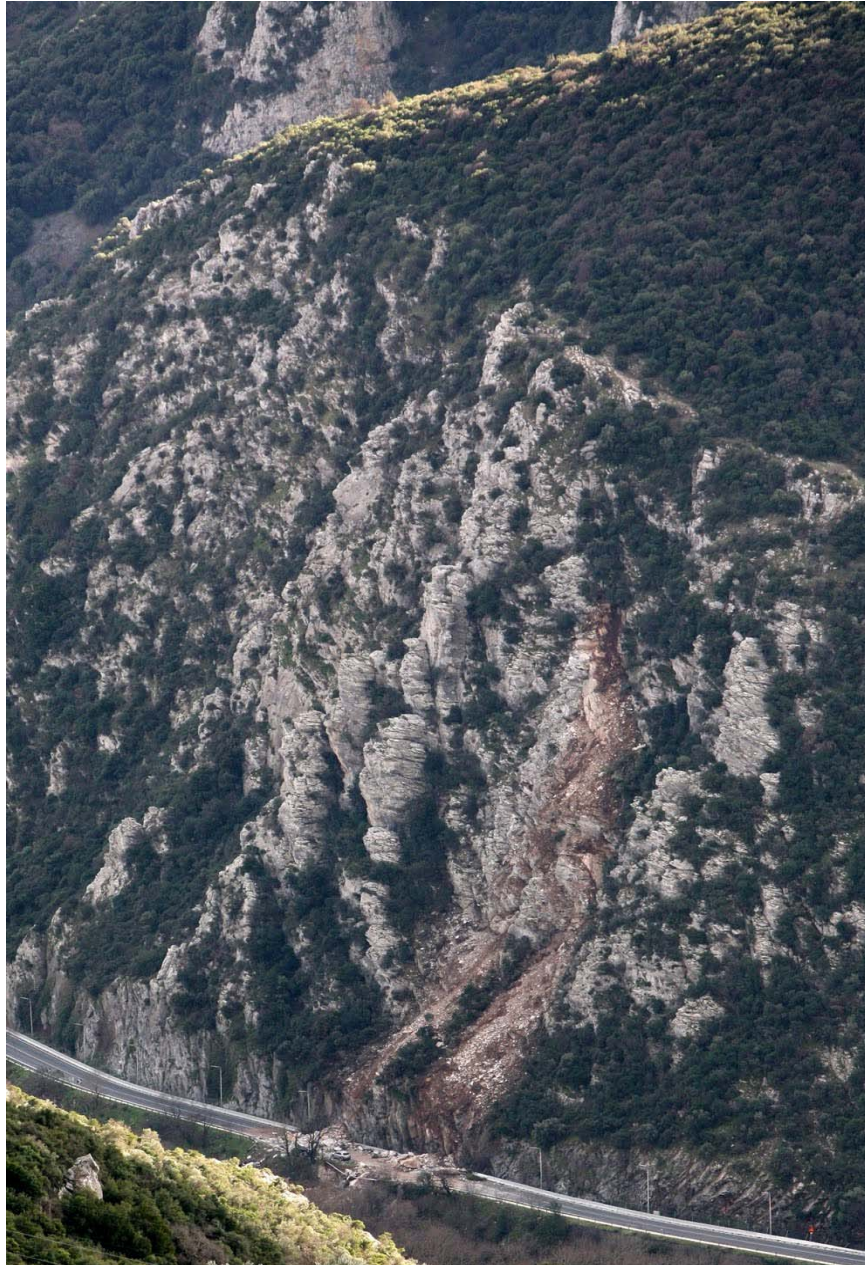


# Τέμνη - Μηχανισμός καταπτώσεων

Τα συστήματα των ασυνεχειών της βραχομάζας διατάσσονται παράλληλα, υποπαράλληλα αλλά και κάθετα στο πρηνές διαμορφώνοντας στύλους (λιθοκολώνες) ή πλάκες βραχομάζας ύψους πολλών μέτρων και δεκάδων τόνων, οι οποίες τοπικά βρίσκονται σε κατάσταση οριακής ισορροπίας



# Βραχόπτωση Τεμπών



Το πρωί στις 17/12/2009 εκδηλώθηκε κατάπτωση μεγάλων τεμαχών ασβεστολίθου, συνολικού όγκου  $300\text{m}^3$  (800 tn) που αποκολλήθηκαν από το πρανές, από ύψος 80m περίπου. Το μεγαλύτερο βραχοτέμαχος  $20\text{m}^3$ .

# Βραχόπτωση Τεμπών

Η βραχόπτωση προκάλεσε τον τραγικό θάνατο του Δ/ντή του έργου διάνοιξης των σιράγγων, Ιταλού μηχανικού **Σέρτζιο Σιάνι**, επικεφαλής δμελούς συνεργείου της κοινοπραξίας που είχε μεταβεί στην περιοχή για αυτοψία, λόγω μικρής κατάπτωσης τις δυο προηγούμενες μέρες



# Βραχώπτωση Τεμπών



# Παράδειγμα 8: Φράγματα

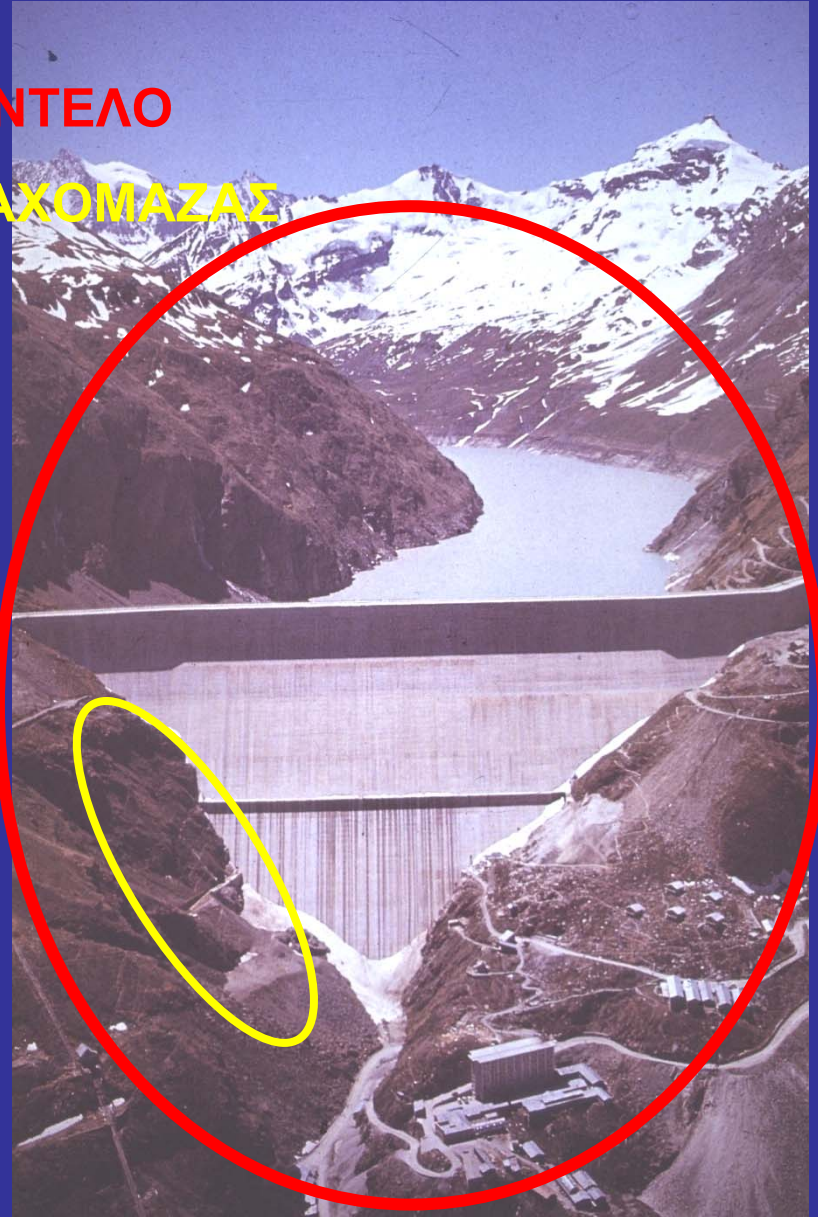
## ΤΟΞΩΤΟ ΦΡΑΓΜΑ



ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

ΜΟΝΤΕΛΟ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

## ΦΡΑΓΜΑ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ



## Παράδειγμα 8: Φράγμα Μόρνου

Τάπητας στεγάνωσης εκεί που εμφανίζονται περατοί ασβεστόλιθοι (Γεωλογικό μοντέλο) στη λίμνη του Μόρνου



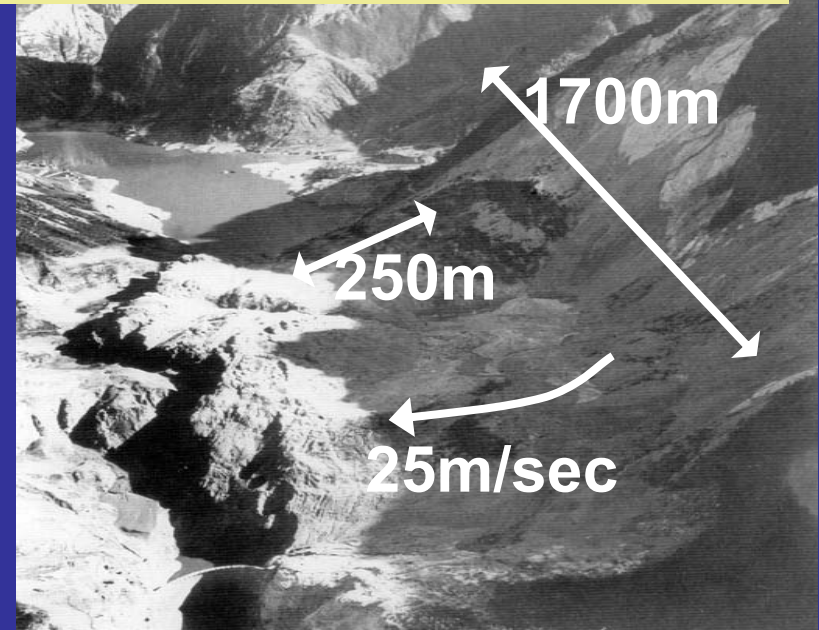
## Παράδειγμα 8: Φράγματα

ΑΣΤΟΧΙΑ ΣΤΟΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ Vaiont. 1963. ΥΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΣ ΑΠΟ ΛΑΘΑΣΜΕΝΗ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΟΥ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

ΠΡΙΝ

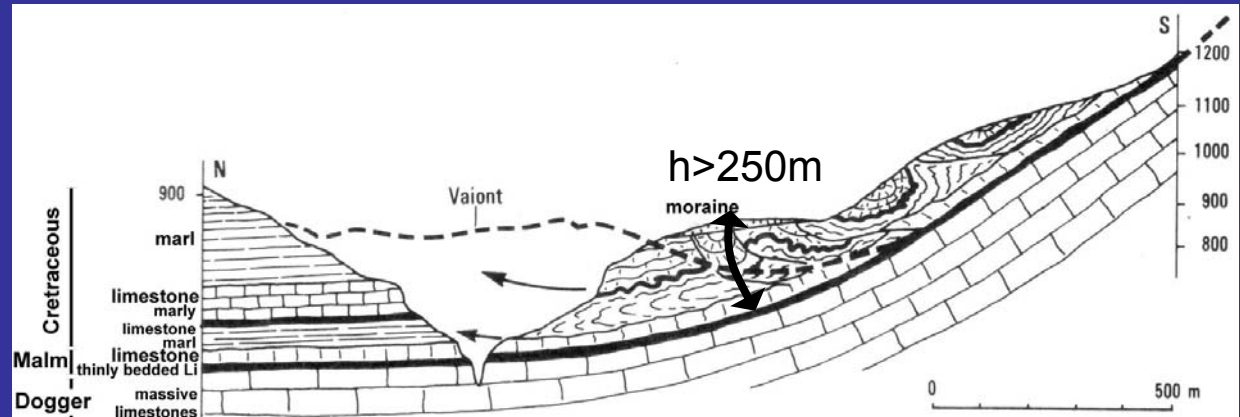


ΜΕΤΑ

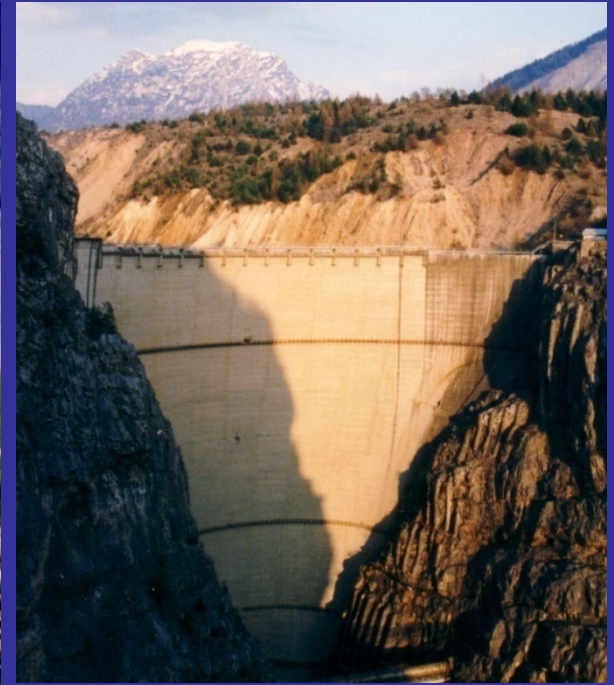


photographs by Bepi Zanfron

Γεωλογική τομή από Selli et al. 1964  
Με τροποποιήσεις



# ΑΣΤΟΧΙΑ ΣΤΟΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ Vaiont. 1963



*... Επί τόπου  
διδασκαλία...*



# ΑΣΤΟΧΙΑ ΣΤΟΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ Vaiont. 1963



**ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ**

**ΜΑΘΗΜΑ 2ο**

**ΤΟ ΑΡΡΗΚΤΟ ΠΕΤΡΩΜΑ  
(ΒΡΑΧΟΣ)**

# **ΤΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ, ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ**

- I. Βράχος – βραχόμαζα: Ποσοτική περιγραφή**
- II. Άρρηκτος Βράχος: Ιδιότητες**
- III. Βραχόμαζα: ιδιότητες**

# ΤΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

(Α) Ο ΒΡΑΧΟΣ



(Β) Η ΒΡΑΧΟΜΑΖΑ = ΒΡΑΧΟΣ + ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ



# Ι. ΤΟ (ΑΡΡΗΚΤΟ) ΠΕΤΡΩΜΑ (ΒΡΑΧΟΣ)

- Πολυκρυσταλλικό ετερογενές μέσο (συνήθως)
- «Ατελές μέσο» (ατέλειες στη σύνδεση, μικρορωγμές)
- Πολλές φορές και ανισότροπο μέσο (ανισοτροπία πετρώματος)

Ενδιαφέρουν:

- συστατικά ορυκτά

- τρόπος σύνδεσης

«κλείδωμα» κόκκων – συγκόλληση  
(σιμέντωση)

## II. ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

### 1. Ο ΒΡΑΧΟΣ (ΑΡΡΗΚΤΟΣ)

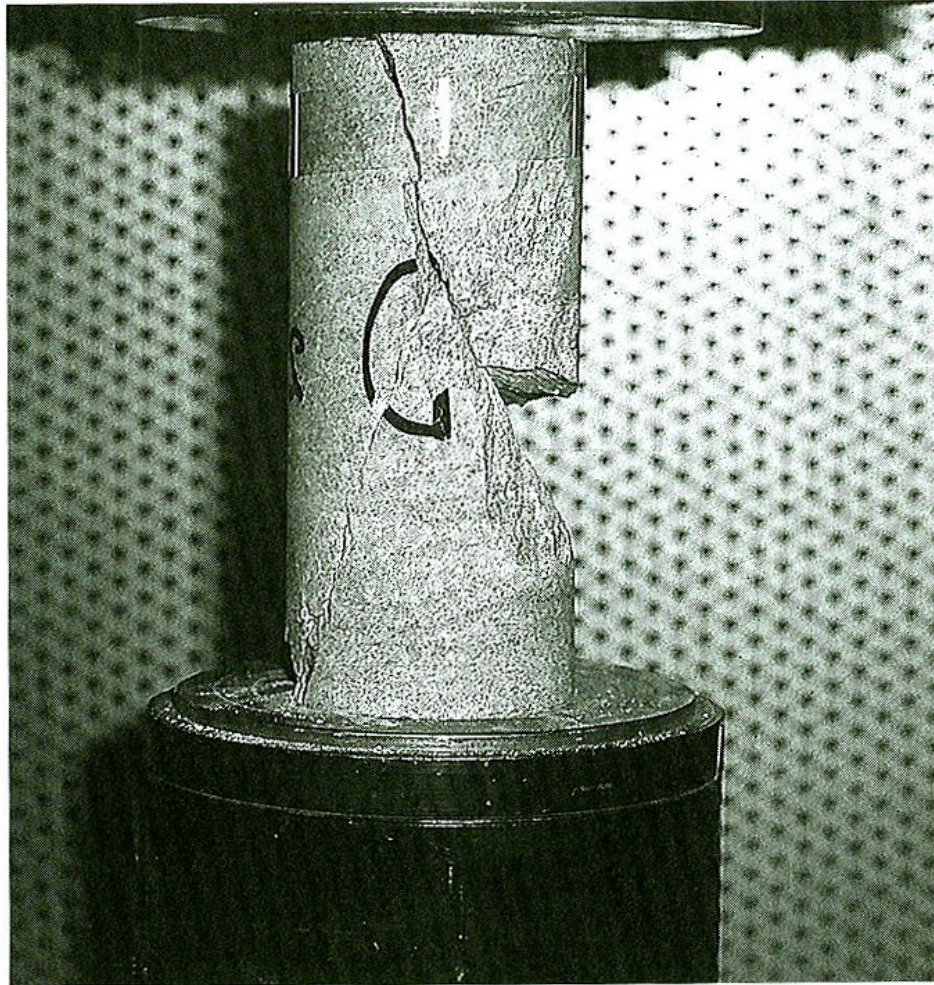
Περιγράφεται από την τιμή της ανεμπόδιστης θλίψης  $\sigma_{ci}$  (UCS)

#### ΑΝΤΟΧΗ ΩΣ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

| ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ          | $\sigma_c$ (MPa) | ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ                                                                   |
|--------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Πολύ υψηλή αντοχή  | >200             | Χαλαζίτης, δολερίτης, γάββρος, βασάλτης                                        |
| Υψηλή αντοχή       | 100-200          | Μάρμαρο, γρανίτης, γνεύσιος, ασβεστόλιθος                                      |
| Μέση αντοχή        | 60-100           | Ψαμμίτης, μαρμαρυγιακός σχιστόλιθος, μαργαϊκός ασβεστόλιθος                    |
| Χαμηλή αντοχή      | 20-60            | Ψαμμίτης μέτρια συνεκτικός, τόφος, ιλυόλιθος, αργιλικός σχιστόλιθος            |
| Πολύ χαμηλή αντοχή | <20              | Ιλυόλιθος, αργιλικός σχιστόλιθος, κρητίν, ορυκτό αλάτι, αποσαθρωμένα πετρώματα |
|                    | <20              | Μαλακοί βράχοι                                                                 |
|                    | <1               | Έδαφος                                                                         |

ΒΡΑΧΟΙ

# ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ. ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ



· Θραύση (συζυγής διατμητική) δοκιμίου ψαμμίτη μετά από εκτέλεση δοκιμής σε ανεμπόδιστη (μοναξονική) θλίψη.



Δοκίμιο βράχου

## Δοκιμή μονοαξονικής θλίψης

## II. ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΝΤΟΧΗΣ

| Grade | Description           | Field identification                                                                                                    | Approx. range of uniaxial compressive strength (MPa) |
|-------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| S1    | Very soft clay        | Easily penetrated several inches by fist                                                                                | <0.025                                               |
| S2    | Soft clay             | Easily penetrated several inches by thumb                                                                               | 0.025–0.05                                           |
| S3    | Firm clay             | Can be penetrated several inches by thumb with moderate effort                                                          | 0.05–0.10                                            |
| S4    | Stiff clay            | Readily indented by thumb but penetrated only with great effort                                                         | 0.10–0.25                                            |
| S5    | Very stiff clay       | Readily indented by thumbnail                                                                                           | 0.25–0.50                                            |
| S6    | Hard clay             | Indented with difficulty by thumbnail                                                                                   | >0.50                                                |
| R0    | Extremely weak rock   | Indented by thumbnail                                                                                                   | 0.25–1.0                                             |
| R1    | Very weak rock        | Crumbles under firm blows with point of geological hammer, can be peeled by a pocket knife                              | 1.0–5.0                                              |
| R2    | Weak rock             | Can be peeled by a pocket knife with difficulty, shallow indentations made by firm blow with point of geological hammer | 5.0–25                                               |
| R3    | Medium strong rock    | Cannot be scraped or peeled with a pocket knife, specimen can be fractured with single firm blow of geological hammer   | 25–50                                                |
| R4    | Strong rock           | Specimen requires more than one blow of geological hammer to fracture it                                                | 50–100                                               |
| R5    | Very strong rock      | Specimen requires many blows of geological hammer to fracture it                                                        | 100–250                                              |
| R6    | Extremely strong rock | Specimen can only be chipped with geological hammer                                                                     | >250                                                 |

*Note:* Grades S1 to S6 apply to cohesive soils, for example clays, silty clays, and combinations of silts and clays with sand, generally slow draining. Discontinuity wall strength will generally be characterized by grades R0–R6 (rock) while S1–S6 (clay) will generally apply to filled discontinuities (see Filling).

Some rounding of strength values has been made when converting to S.I. units.

# ΤΟ ΠΕΤΡΩΜΑ ΩΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟ ΜΕΣΟ

(Ορισμός ελαστικού μέσου  $E = \sigma / \epsilon$ )

## ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

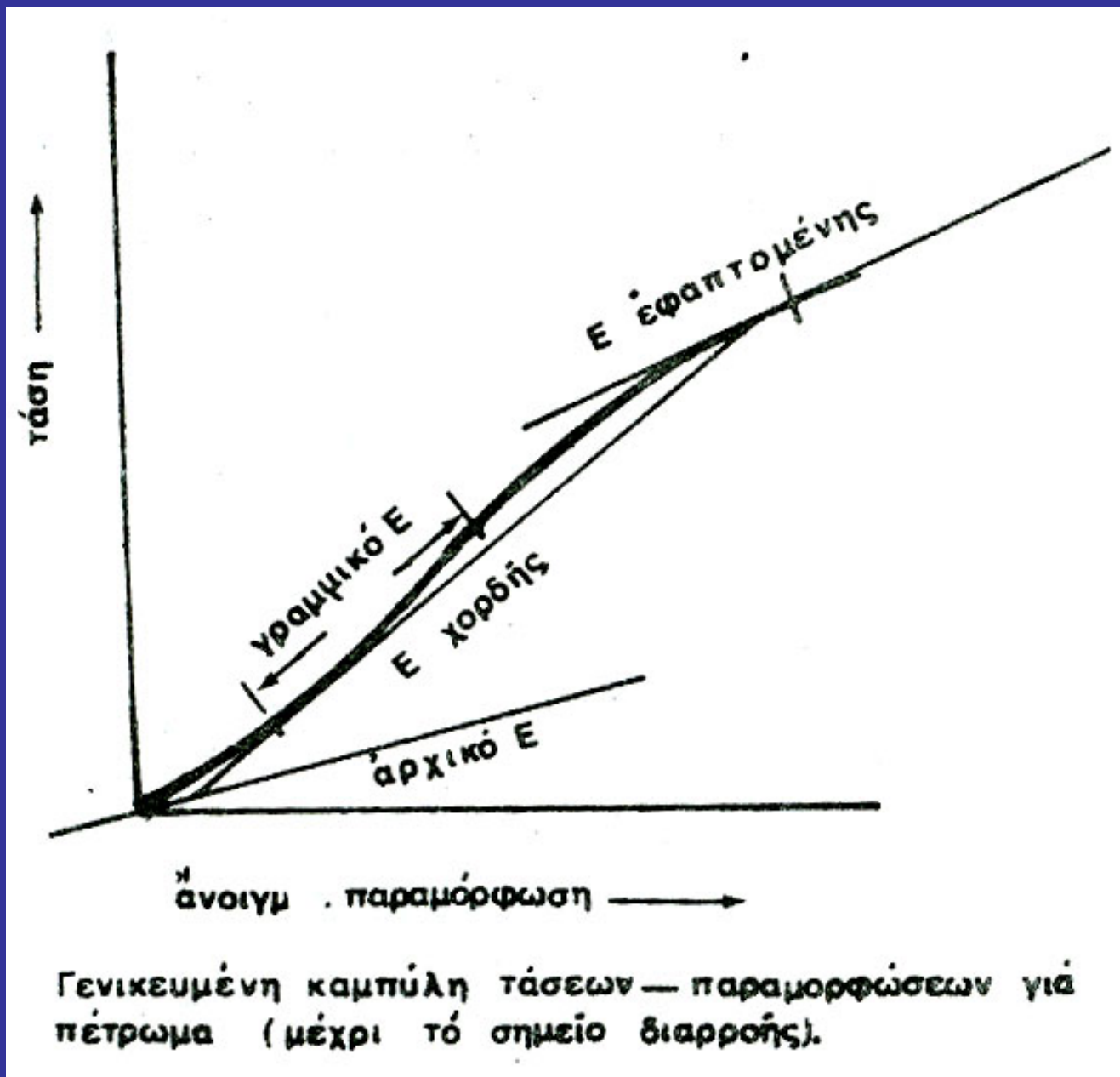
ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ  $\Rightarrow$  Μη γραμμική ελαστικότητα

- $E$  μεταβάλλεται με  $\sigma$
- $E$  μεταβάλλεται με φορά φορτίου ( $E_{\max} \xrightarrow{\downarrow}$ )
- $E$  συνάρτηση της δομής («αλληλοκλειδώματος κόκκων»)
- $E_{\text{ξηρό}} \neq E_{\text{υγρό}}$
- $E$  μεγαλύτερο αν υπήρξε μεγάλη σε διάρκεια φόρτιση στο παρελθόν

ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ ΤΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΜΕΤΡΟ  $E$  ΣΕ ΚΑΘΕ  
ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΡΓΟ

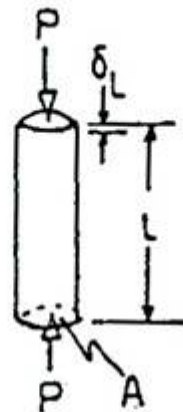
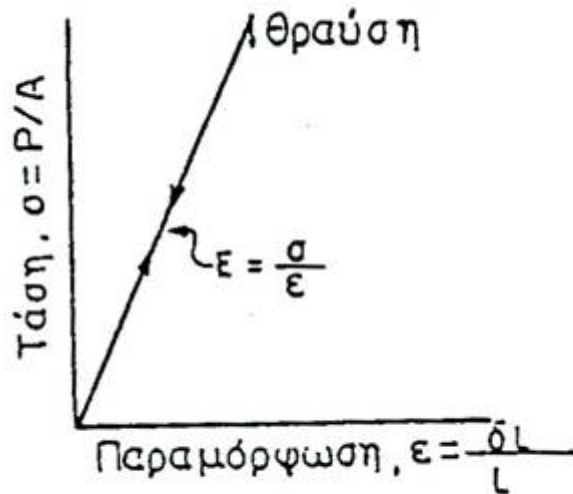
(όπου απαιτείται να είναι γνωστή η ελαστική συμπεριφορά)

# ΤΟ ΠΕΤΡΩΜΑ ΩΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟ ΜΕΣΟ



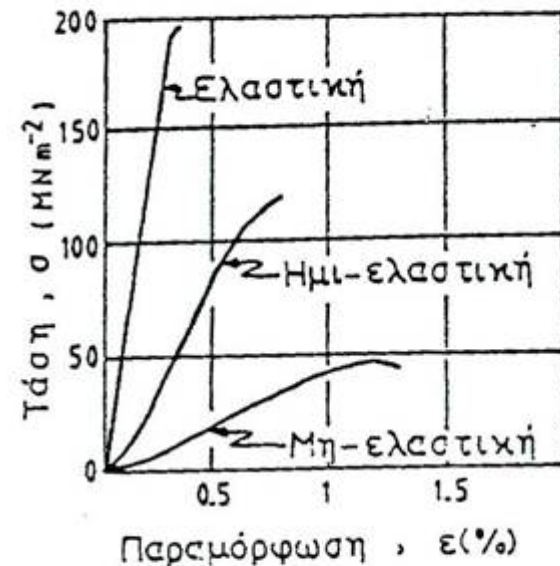
# ΤΟ ΠΕΤΡΩΜΑ ΩΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟ ΜΕΣΟ

Όταν το πέτρωμα φορτιζόμενο θραύεται (αστοχεί) απότομα σε παραμόρφωση μικρότερη του 1% χαρακτηρίζεται ως ψαθυρό.



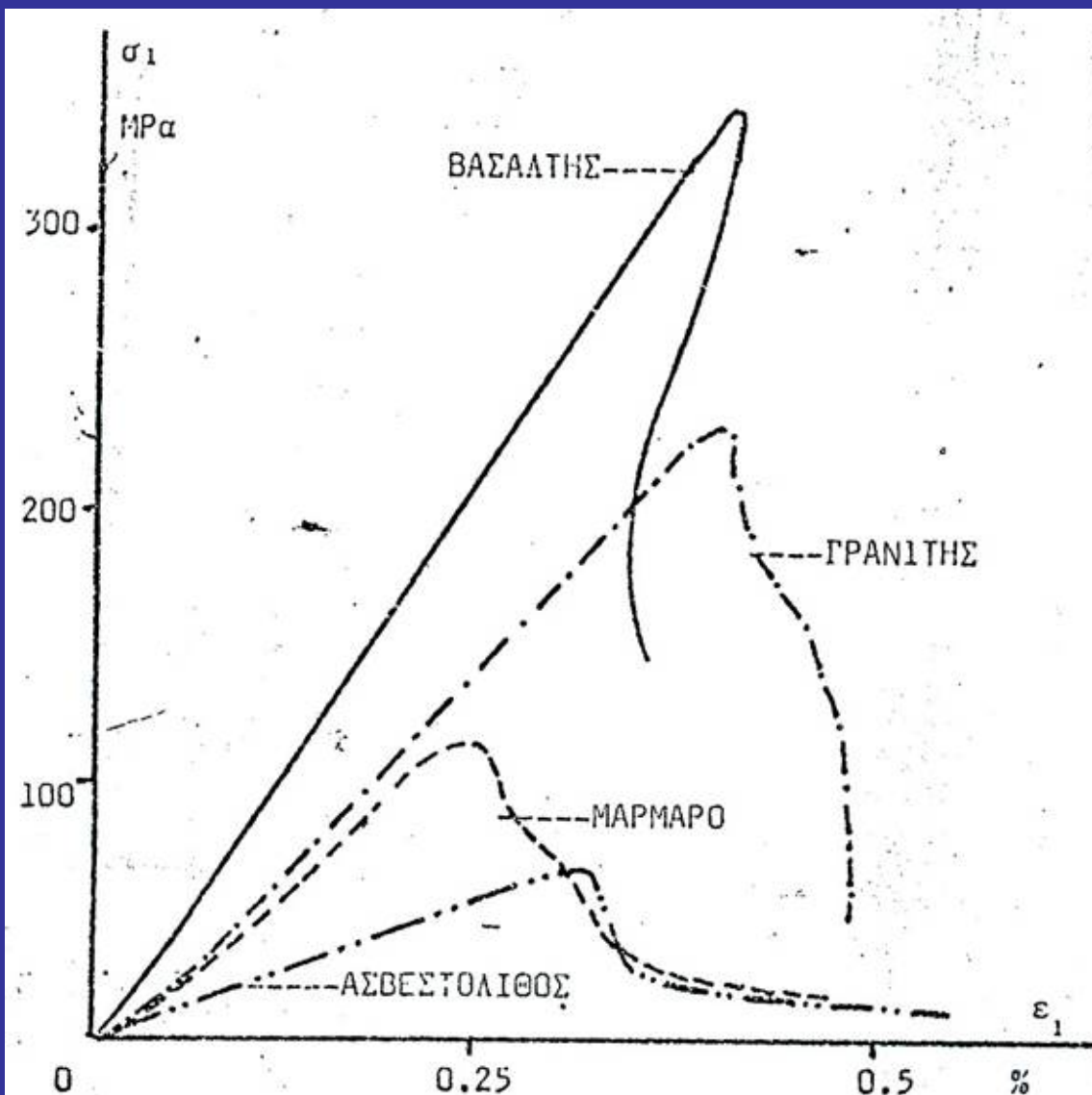
λόγος Poisson,  $\nu = \frac{\text{διαμετρική παρ.}}{\text{αξονική παραμ.}}$

Προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας,  $E$ .



Τυπικές καμπύλες τάσεως-παραμορφώσεως πετρωμάτων.

# ΤΟ ΠΕΤΡΩΜΑ ΩΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟ ΜΕΣΟ

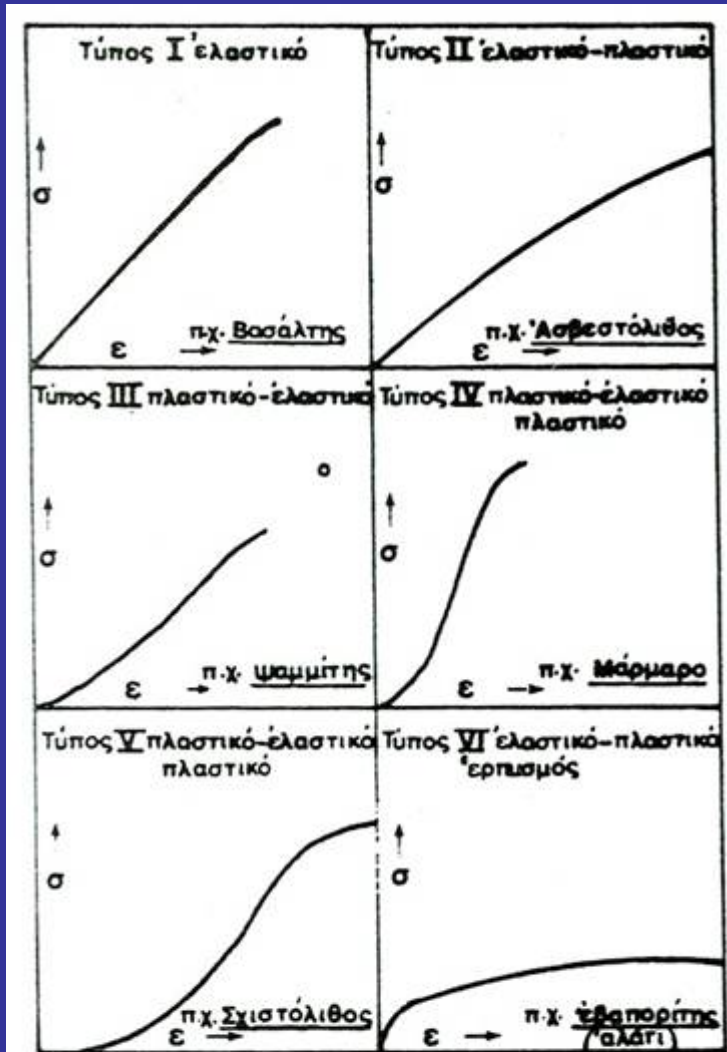


Σχήμα 10. Πλήρεις καμπύλες  $\sigma_1$ - $\epsilon_1$  για διάφορους τύπους πετρωμάτων  
( Wawersik, 1968).

# ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

Προσέγγιση ελαστικής συμπεριφοράς όταν:

- σκληρά (π.χ. Με πυριτικά ορυκτά)
- πυκνής δομής
- ελάχιστου πορώδους



Τυπικές καμπύλες  $\sigma$ - $\epsilon$  για πετρώματα σε μοναξονική θλίψη. (κατά Hendron, 1968).

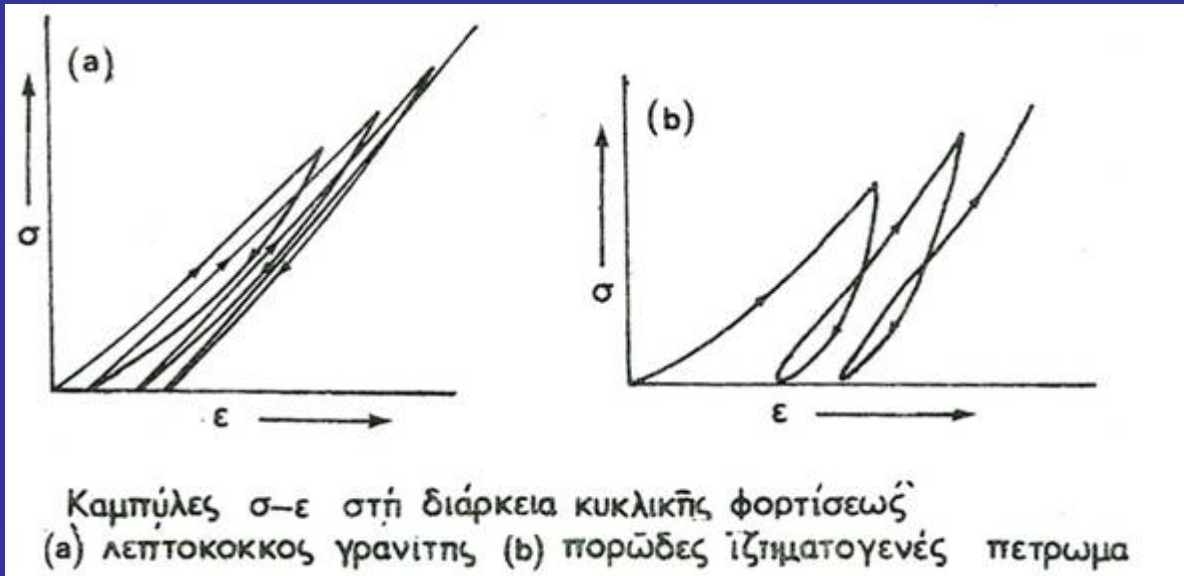
# ΥΣΤΕΡΗΣΗ ΣΤΗΝ ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗ

Απόκλιση ελαστικής συμπεριφοράς στα πετρώματα και κατά την αποφόρτιση  $\Rightarrow$  υστέρηση

ανάλογη με το πέτρωμα

Μείωση υστέρησης με επανάληψη των κύκλων φόρτισης - αποφόρτισης

Σχέσεις με γεωλογική ιστορία και λειτουργία έργου

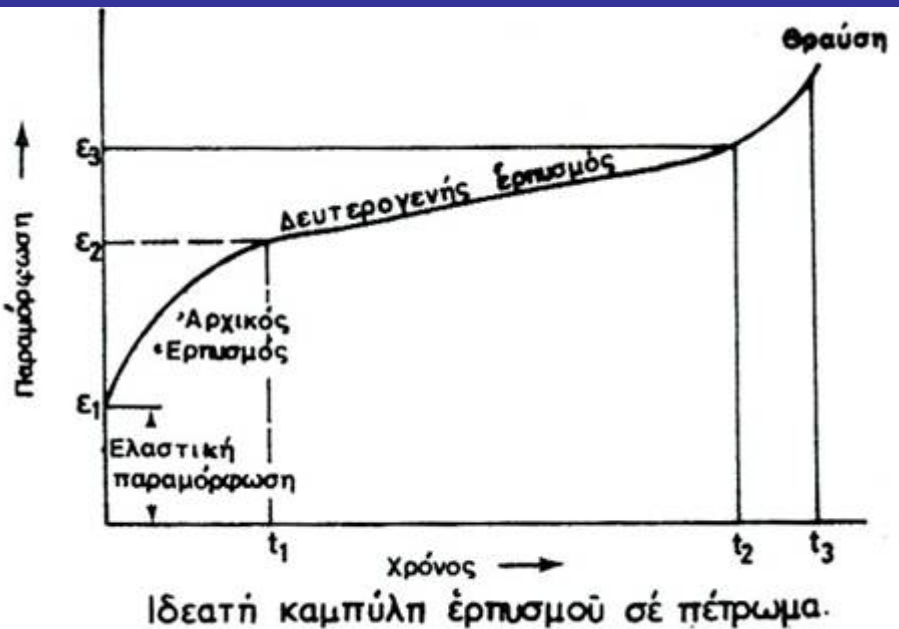


# ΕΡΠΥΣΜΟΣ

Παραμόρφωση συναρτήσει του χρόνου, κάτω από το ίδιο περιβάλλον τάσεων

Επιπλέον: επίδραση θερμοκρασίας, πίεσης πόρων.

## Ιδεατή καμπύλη



**Πρώτος ερπυσμός:**

επαναφορά παραμόρφωσης

**Δεύτερος ερπυσμός:**

καμπύλη με αυξανόμενη κλίση  
→ παραμόρφωση μόνιμη

**Τρίτος ερπυσμός:**

επιτάχυνση → θραύση

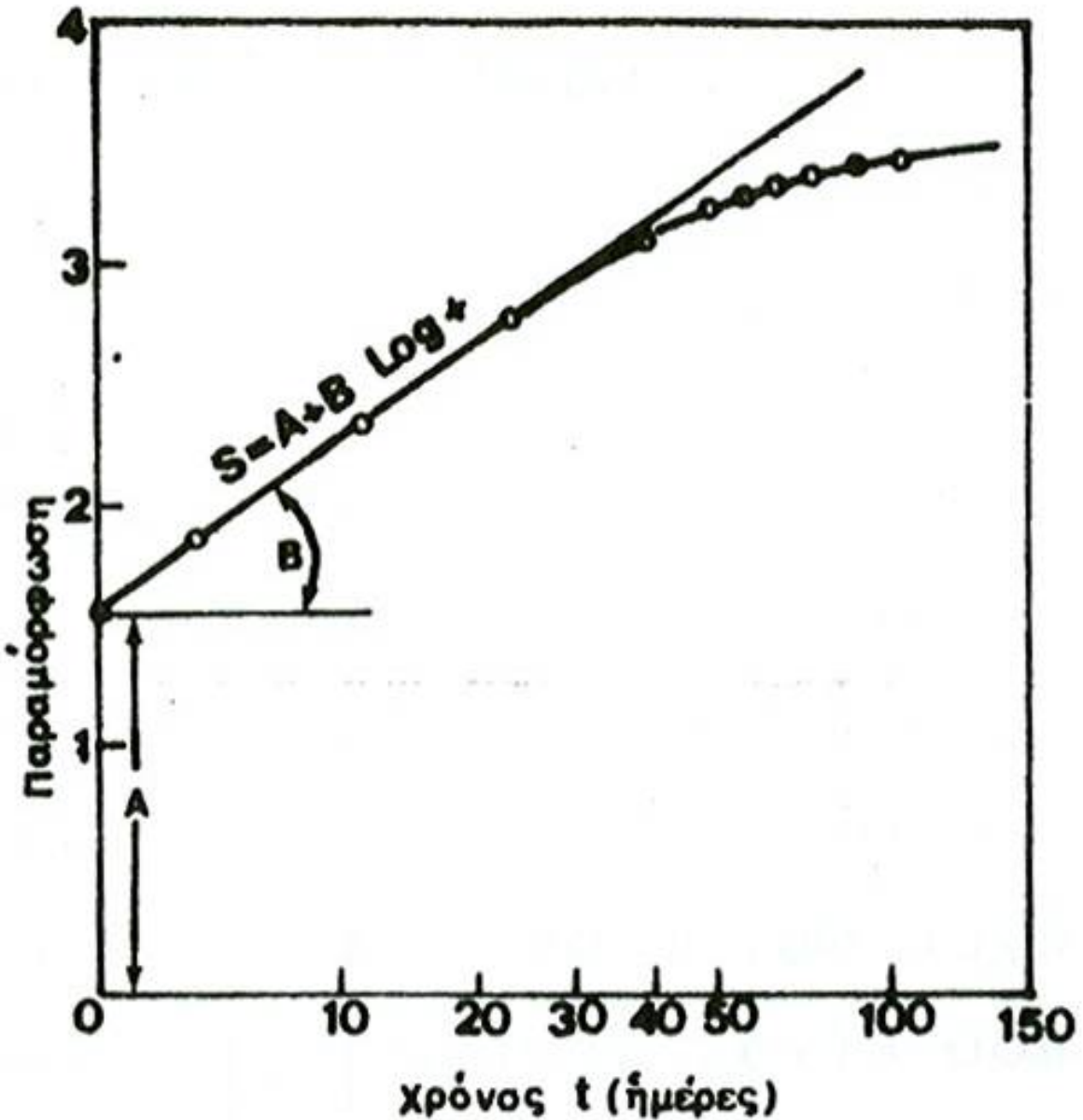
# ΕΡΠΥΣΜΟΣ

$$\varepsilon_t = A + B \log t + C_t$$

A=ελαστική παραμόρφωση,

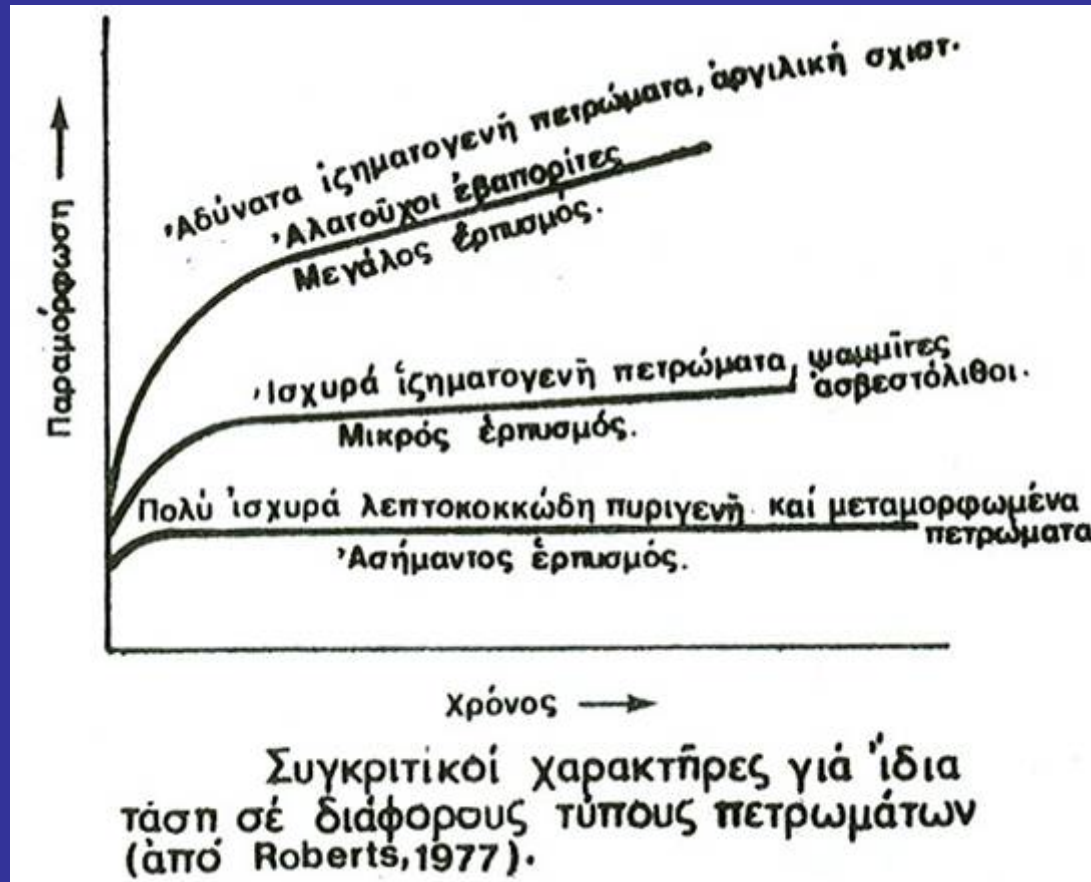
B=πρώτος ερπυσμός,

$C_t$ =δεύτερος ερπυσμός



Προσδιορισμός της σταθεράς έρπυσμού.

# Ερπυσμός στους διαφόρους τύπους πετρωμάτων



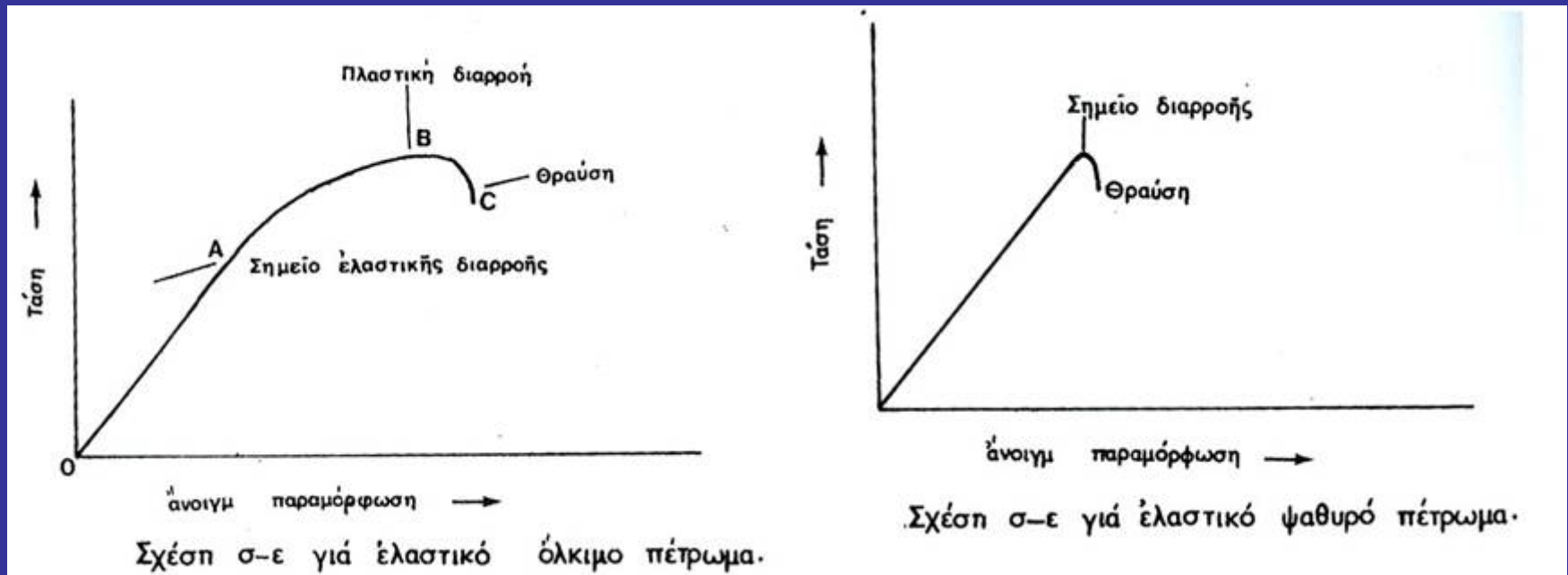
**Τεχνική σημασία:** υπερβολικές παραμορφώσεις σε ορισμένα πετρώματα

**Τεχνικά έργα:** βαθιές σήραγγες, βαθιά φρέατα

# ΘΡΑΥΣΗ ΤΟΥ ΑΡΡΗΚΤΟΥ ΒΡΑΧΟΥ

ΑΝΤΟΧΗ  $\Rightarrow$  αναφέρεται στο μέγιστο επίπεδο τάσεων που μπορεί να φέρει ένα δείγμα βράχου

- άφιξη στο σημείο διαρροής (ψαθυρή)
- άφιξη στο σημείο θραύσης (ψαθυρή)
- άφιξη σε υπερβολικές παραμορφώσεις ύστερα από ένα χρόνο  $t$  (πλαστική)
- μεγάλες παραμένουσες παραμορφώσεις (πλαστική)



# ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Συνοχή (αντοχή σε εφελκυσμό λόγω κλειδώματος των κόκκων) ( $c$ )

Εσωτερική τριβή ( $\varphi$ )

Παρουσία νερού:  $c \downarrow$ ,  $\varphi \downarrow$ , εμφάνιση  $u$  (μείωση  $\sigma$ )

# ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ, $\sigma_1$ , $\sigma_3$



Δοκιμή τριαξονικής  
φόρτισης για  
βραχώδη δοκίμια



Τριαξονικό  
κελί Hoek

# ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΑ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

>> Εφαρμοζόμενη τάση από τα έργα Π.Μ.

- Εξαιρέσεις:
- ασθενή αργιλικά πετρώματα
  - πολύ αποσαθρωμένα
  - ρωγματωμένα

## Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη ( $q_u$ , UCS, $\sigma_c$ )

- Σκυρόδεμα  $\approx 15-35 \text{ MPa}$
- Κρυσταλλικά με πορώδες  $< 1\% \Rightarrow \sigma_c > 200 \text{ MPa}$
- Ιζηματογενή με πυκνότητα  $< 2,2 \text{ tn/m}^3 \Rightarrow \sigma_c < 70 \text{ MPa}$

**Χρήση στην ταξινόμηση για πρόχειρες εκτιμήσεις**

# Επιλογή έκφρασης κριτηρίου θραύσης

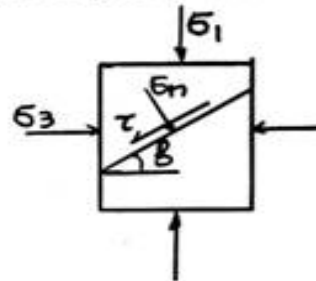
- A. Κριτήριο θραύσης που εκφράζει την αντοχή σε διάτμηση με όρους ενεργών ορθών τάσεων που επενεργούν σε συγκεκριμένο επίπεδο ή ζώνη αδυναμίας.
- B. Κριτήριο θραύσης με τριαξονικά δεδομένα σε όρους μέγιστης κύριας τάσης κατά την θραύση, έναντι ελάχιστης κύριας τάσης .

Το κριτήριο A συνήθως σε περιπτώσεις αναλύσεων οριακής ισορροπίας π.χ. Ολίσθησης βράχου.

Το κριτήριο B σε αναλύσεις ευστάθειας υπόγειων έργων σε περιβάλλον μέσων ή υψηλών επιπέδων τάσεων, όπου η απόκριση των στοιχείων του βράχου στις κύριες τάσεις που του ασκούνται είναι πρώτιστης σημασίας

# Κριτήριο Mohr-Coulomb

Το κριτήριο εκφράζει τη σχέση μεταξύ της διατμητικής ( $\tau$ ) και της ορθής τάσης ( $\sigma_n$ ) κατά τη θραύση του πετρώματος που λαμβάνει χώρα κατά μήκος μιας επίπεδης επιφάνειας, υπό την επίδραση των κυρίων τάσεων  $\sigma_1$  (αξονικής) και  $\sigma_3$  (πλευρικής)



$$\tau = 1/2 (\sigma_1 - \sigma_3) \eta\mu 2\beta$$

$$\sigma_n = 1/2 (\sigma_1 + \sigma_3) + 1/2 (\sigma_1 - \sigma_3) \sigma\upsilon\nu 2\beta$$

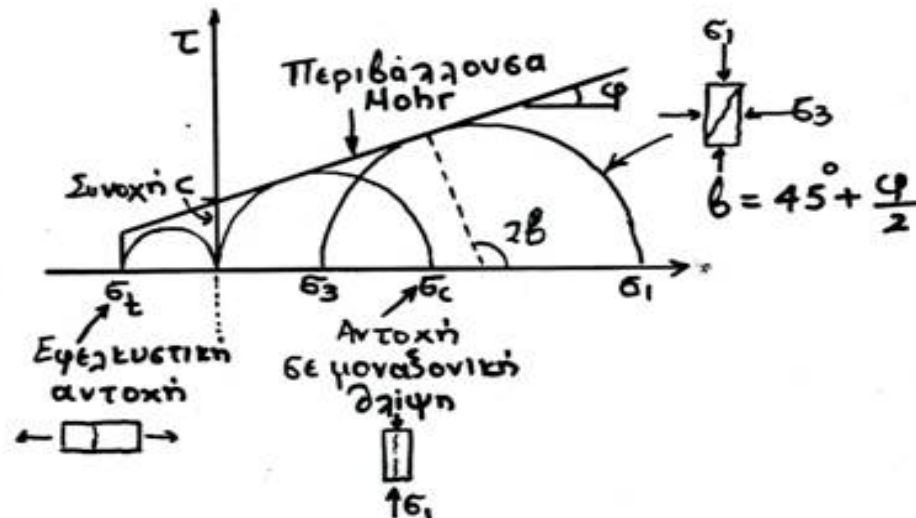
$$\tau = c + \sigma_n \epsilon\phi \varphi$$

όπου:

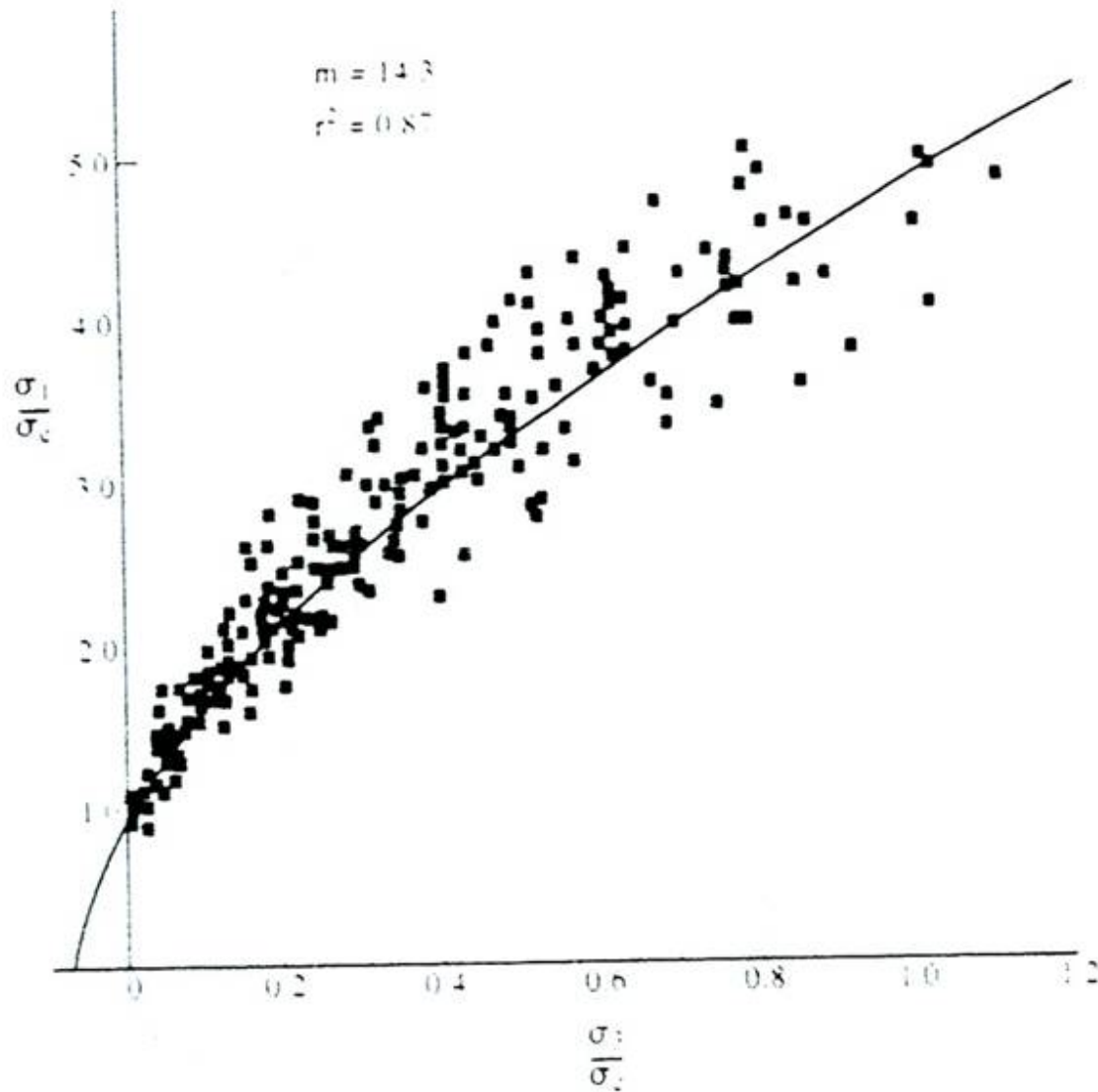
$c$  : συνοχή (η διατμητική αντοχή για  $\sigma_n = 0$ )

$\varphi$  : γωνία εσωτερικής τριβής

Αν υπάρχει νερό:  $\tau = c + (\sigma_n - u) \epsilon\phi \varphi$ ,  $u$  = πίεση νερού πόρων



# Το εμπειρικό κριτήριο Hoek-Brown



$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left( m_i \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + 1 \right)^{0.5}$$

# ΚΡΙΤΗΡΙΟ HOEK-BROWN ΓΙΑ ΑΡΡΗΚΤΟ ΒΡΑΧΟ

Συνετάγη ώστε να ικανοποιεί τα εξής:

1. Συμφωνία με τις αντοχές δοκιμών εργαστηρίου (δείγματα 50mm διαμέτρου με προσανατολισμό κάθετο στις ασυνέχειες)
2. Απλότητα (απλή εξίσωση βασιζόμενη όσο το δυνατόν σε αδιάστατους παραμέτρους)
3. Δυνατότητα να μπορεί να «χειρισθεί» κατάλληλα προσαρμοζόμενο και την θραύση ρωγματωμένων βράχων

Κριτήριο εμπειρικό χωρίς αυστηρά θεμελιώδη σχέση μεταξύ των σταθερών της εξίσωσης και των φυσικών χαρακτήρων πετρώματος.

Το κριτήριο εξήχθει βασιζόμενο σε δοκιμές ψαθυρής θραύσης πετρωμάτων. Όχι καλή εφαρμογή όταν το πέτρωμα γίνεται πλάστιμο σε χαμηλά επίπεδα τάσεων.

Όχι καλή εφαρμογή σε σχιστώδη ή ζωνώδη πετρώματα (σχιστόλιθοι, γνεύσιοι)

## Σχέση Hoek & Brown (1980) για δοκίμια διαφόρων διαμέτρων

$$\sigma_{c50} = \frac{\sigma_c}{\left(\frac{50}{d}\right)^{0.18}}$$

$\sigma_{c50}$

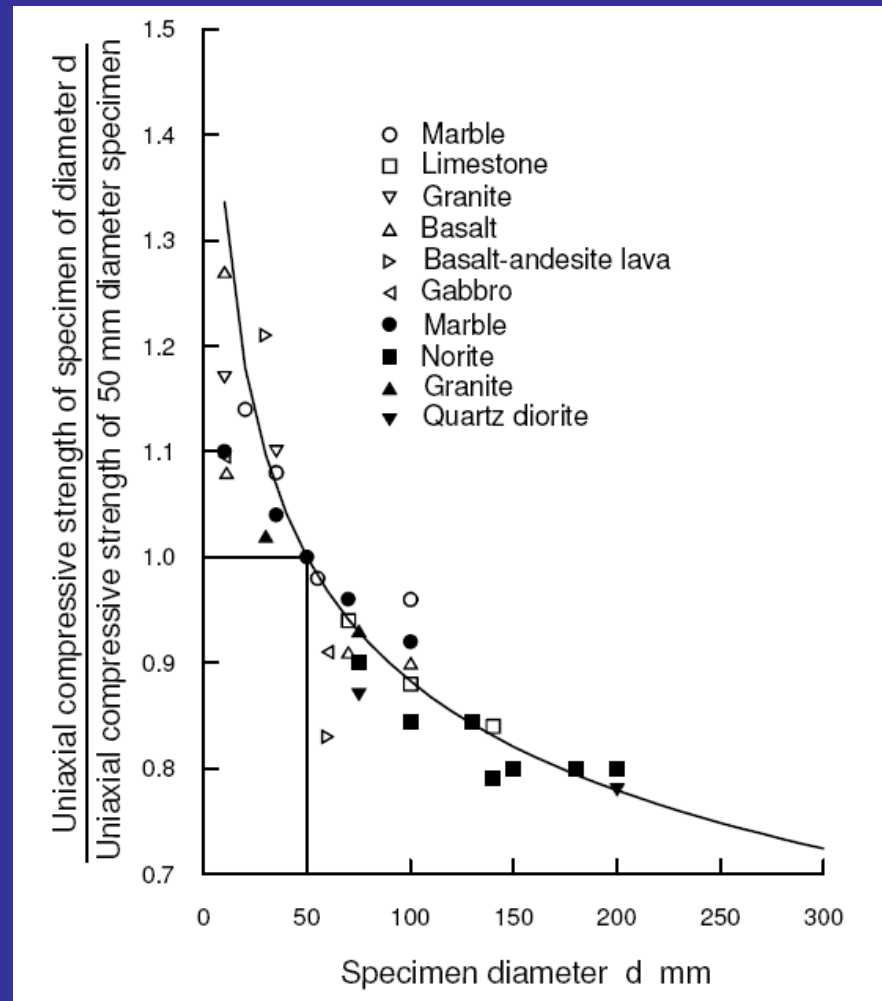
UCS, για 50mm διάμετρο

$\sigma_c$

UCS, για δοκίμιο με διάμετρο d

$d$

Διάμετρος δοκιμίου σε mm



# Τιμές της σταθεράς $m_i$ ανάλογα με τους πετρογραφικούς τύπους

(οι τιμές σε παρένθεση αποτελούν εκτιμήσεις)  
(αναθεωρημένο από Hoek & Marinos, 2001)

| Τύπος         |                  | Ομάδα      | ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ                              |                                                      |                                        |                                                 |
|---------------|------------------|------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------|
|               |                  |            | Χονδρή                                   | Μέση                                                 | Λεπτή                                  | Πολύ λεπτή                                      |
| ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ   | Κλαστικό         |            | Κροκαλοπαγή *                            | Ψαμμίτες<br>17 ± 4                                   | Ιλυόλιθοι<br>7 ± 2                     | Αργιλόλιθοι<br>4 ± 2                            |
|               |                  |            | Λατυποπαγή *                             |                                                      | Γραουβάκες<br>(18 ± 3)                 | Αργ.σχιστόλιθοι<br>(6 ± 2)<br>Μάργες<br>(7 ± 2) |
|               | Μη κλαστικό      | Ανθρακικά  | Κρυσταλλικοί<br>Ασβεστόλιθοι<br>(12 ± 3) | Σπαριτικοί<br>Ασβεστόλιθοι<br>( 10 ± 2)              | Μικριτικοί<br>Ασβεστόλιθοι<br>(9 ± 2 ) | Δολομίτες<br>(9 ± 3)                            |
|               |                  | Εβαπορίτες |                                          | Γύψος<br>8 ± 2                                       | Ανυδρίτης<br>12 ± 2                    |                                                 |
|               |                  | Οργανικά   |                                          |                                                      |                                        | Κρητίν<br>7 ± 2                                 |
| ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΑ | Μη πτυχωμένα     |            | Μάρμαρο<br>9 ± 3                         | Κερατόλιθοι<br>(19 ± 4 )<br>Μεταψαμμίτες<br>(19 ± 3) | Χαλαζίτες<br>20 ± 3                    |                                                 |
|               | Ελαφρά πτυχωμένα |            | Μιγματίτες<br>(29 ± 3)                   | Αμφιβολίτες<br>26 ± 6                                | Γνεύσιοι<br>28 ± 5                     |                                                 |
|               | Πτυχωμένα**      |            |                                          | Σχιστόλιθοι<br>12 ± 3                                | Φυλλίτες<br>(7 ± 3)                    | Σχίστες<br>7 ± 4                                |

\*Οι τιμές αφορούν δείγματα άρρηκτου βράχου που δοκιμάστηκαν κάθετα στη στρώση και στη σχιστότητα. Η τιμή  $m_i$  θα είναι θεαματικά διαφορετική αν υπάρξει αστοχία σε επιφάνεια αδυναμίας

# Τιμές της σταθεράς $m_i$ ανάλογα με τους πετρογραφικούς τύπους

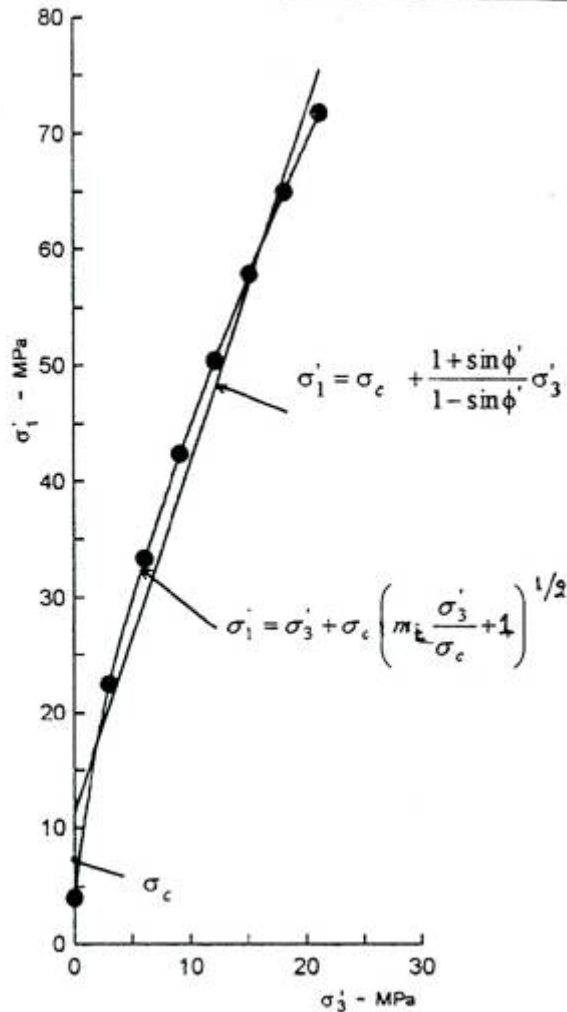
(οι τιμές σε παρένθεση αποτελούν εκτιμήσεις)  
(αναθεωρημένο από Hoek & Marinos, 2001)

| Τύπος    |             | Ομάδα          | ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ                                    |                                                         |                                                     |                             |
|----------|-------------|----------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------|
|          |             |                | Χονδρή                                         | Μέση                                                    | Λεπτή                                               | Πολύ λεπτή                  |
| ΠΥΡΙΓΕΝΗ | Πλουτώνια   | Ανοιχτό-χρωμα  | Γρανίτης<br>$32 \pm 3$                         | Διορίτης<br>$25 \pm 5$<br>Γρανοδιορίτης<br>$(29 \pm 3)$ |                                                     |                             |
|          |             | Σκοτεινό-χρωμα | Γάββρος<br>$27 \pm 3$<br>Νορίτης<br>$20 \pm 5$ | Δολερίτης<br>$(16 \pm 5)$                               |                                                     |                             |
|          | Υποαβυσσικά |                | Πορφύρης<br>$(20 \pm 5)$                       |                                                         | Διαβάσης<br>$(15 \pm 5)$                            | Περιδοτίτης<br>$(25 \pm 5)$ |
|          | Ηφαιστειακά | Λάβα           |                                                | Ρυόλιθος<br>$(25 \pm 5)$<br>Ανδεσίτης<br>$25 \pm 5$     | Δακίτης<br>$(25 \pm 3)$<br>Βασάλτης<br>$(25 \pm 5)$ |                             |
|          |             | Πυροκλαστικά   | Κροκαλοπαγή<br>$(19 \pm 3)$                    | Ηφ.Λατυποπαγή<br>$(19 \pm 5)$                           | Τόφφοι<br>$(13 \pm 5)$                              |                             |
|          |             |                |                                                |                                                         |                                                     |                             |

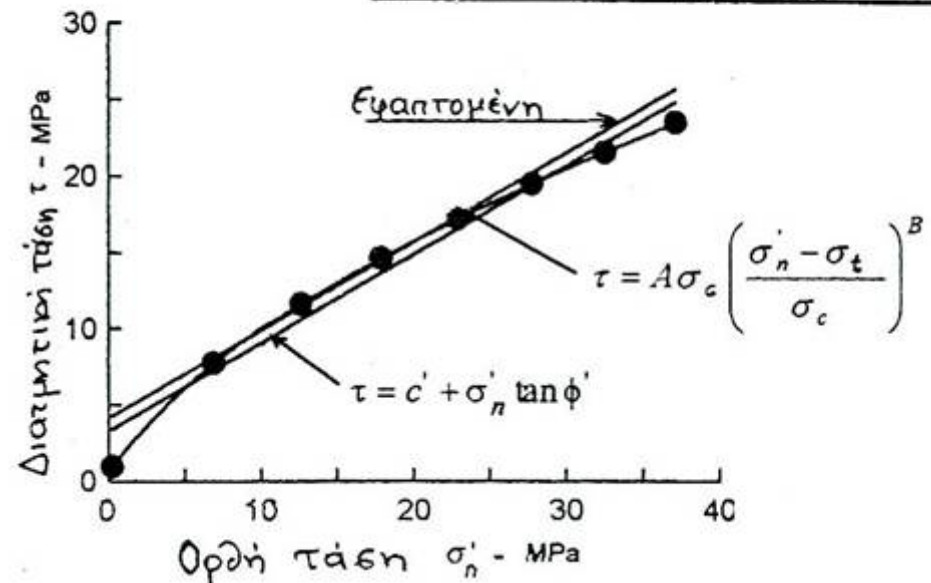
\*Οι τιμές αφορούν δείγματα άρρηκτου βράχου που δοκιμάστηκαν κάθετα στη στρώση και στη σχιστότητα. Η τιμή  $m_i$  θα είναι θεαματικά διαφορετική αν υπάρξει αστοχία σε επιφάνεια αδυναμίας

# ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΡΙΤΗΡΙΟΥ ΗΟΕΚ-BROWN ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ MOHR-COULOMB

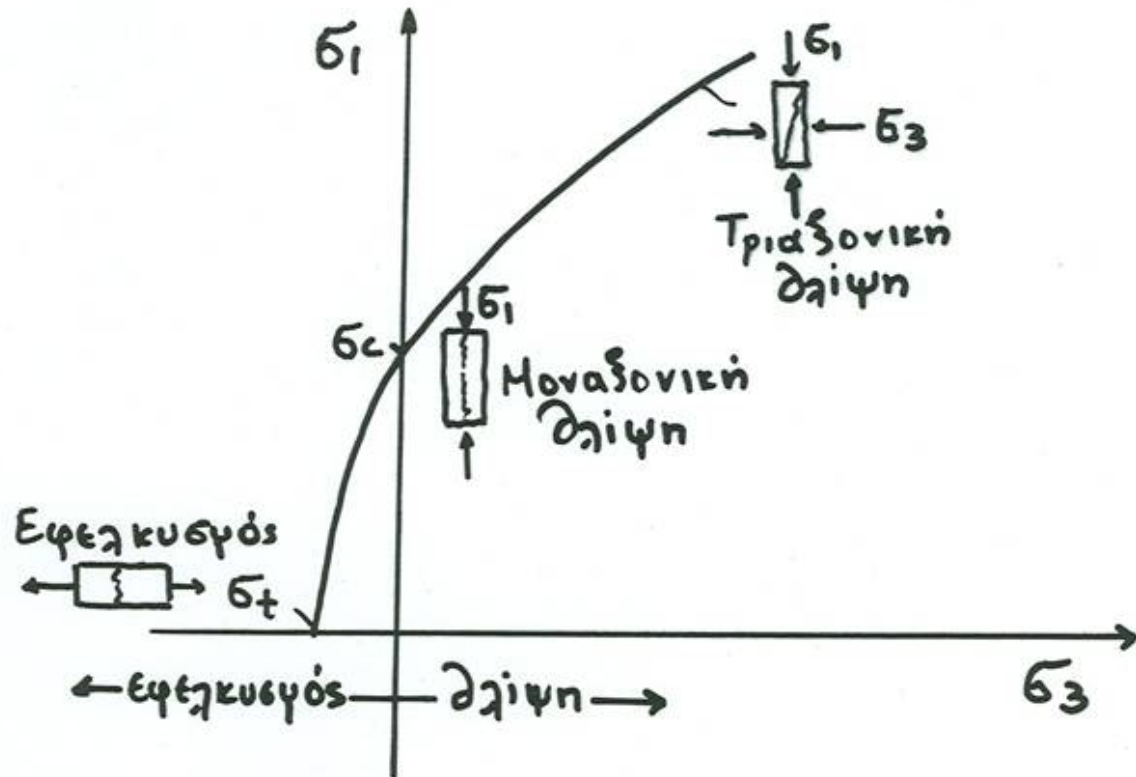
α. Διάγραμμα  $\sigma'_1, \sigma'_3$



β. Διάγραμμα  $\tau - \sigma'_n$



# ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΡΙΤΗΡΙΟΥ HOEK- BROWN ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ MOHR- COULOMB



- το κριτήριο εφαρμόζεται καλλίτερα σε υψηλές πλευρικές τάσεις ( $\sigma_3$ ), όπου η θραύση λαμβάνει χώρα κατά μήκος επιπέδου διατμητικής επιφανείας με κλίση  $\beta = 45^\circ + \phi/2$  ως προς την  $\sigma_3$
- σε χαμηλές πλευρικές τάσεις ή σε μοναξονική θλίψη ( $\sigma_3 = 0$ ) η θραύση γίνεται κατά μήκος επιφανειών σχεδόν παράλληλων προς την κυρία τάση  $\sigma_1$



Συσκευή σημειακής φόρτισης.

Έμμεσος προσδιορισμός  $\sigma_{ci}$